

Bc. Maxim Volosjevič

Návrh vysokotlakého klínového šoupátka pro jadernou energetiku

Design of High-Pressure Wedge Gate Valve for Nuclear Power

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2021

Bibliografický záznam

Autor: Bc. Maxim Volosjevič, VOL0081

Název práce: Návrh vysokotlakého klínového šoupátka pro jadernou energetiku

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 60

Klíčová slova: klínové šoupátko, armatura, jaderná energetika

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VOLOSJEVIČ, Maxim. *Návrh vysokotlakého klínového šoupátka pro jadernou energetiku*. Ostrava, 2021, 60 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá tvorbou konstrukčního návrhu klínového šoupátka pro jadernou energetiku. V úvodu je popsána obecná charakteristika šoupátka. Původní typ šoupátka byl podroben tlakovým a cyklickým zkouškám v autorizované zkušebně, poté došlo k demontáži a následné defektoskopii. Defekty byly opraveny a byly upraveny klíčové součásti. Navržené klínové šoupátko je upraveno a připraveno k dalším tlakovým a provozním zkouškám, které jsou podstatné pro atestaci daného typu armatur. Kontrolní výpočty ověřily správnost navržených parametrů šoupátka. Vytvořený konstrukční návrh je zdokumentován v příloze práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VOLOSJEVIC, Maxim. *Design of High-Pressure Wedge Gate Valve for Nuclear Power*. Ostrava, 2021, 60 p. Bachelor thesis. VSB - Technical University of Ostrava. Thesis supervisor Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Thesis deals with the creation of a structural design of a wedge gate valve for nuclear energy. The introduction describes general characteristics of the wedge gate valve. The original type of the wedge gate valve was subjected to pressure and cyclic tests in authorized testing laboratories, then disassembly and subsequent defectoscopy took place. Defects have been fixed and key components have been modified. The designed wedge gate valve is modified and prepared for further pressure and operational tests, which are essential for the certification of a given type of valve. Control calculations verified the correctness of the proposed slide parameters. The created structural design is documented in the appendix of the thesis.

OBSAH

Úvod	9
1 Obecná charakteristika šoupátka	10
1.1 Druhy průmyslových šoupátek	11
1.2 Ovládací prvky šoupátek	15
1.3 Výrobní požadavky	16
1.4 Požadavky na spolehlivost.....	17
1.5 Požadavky na polotovary.....	20
1.6 Požadavky na zkoušení armatur	20
2 Konstrukce klínového šoupátka	23
2.1 Původní konstrukční řešení	24
2.2 Požadované specifikace klínového šoupátka	24
2.3 Princip práce klínového šoupátka	25
2.4 Těleso klínového šoupátka	27
2.5 Vřeteno klínového šoupátka	28
2.6 Klín klínového šoupátka.....	30
2.7 Vedení klínu v klínovém šoupátku.....	30
3 Ověřovací laboratorní zkoušky	32
3.1 Laboratorní zkoušky provedené na klínovém šoupátku	33
3.2 Defragmentace součástí	34
4 Výpočtová část klínového šoupátka	39
4.1 Obecné ustanovení.....	39
4.2 Výpočet tlakových hydraulických zkoušek	40
4.3 Kontrolní výpočet hlavních rozměrů tělesa.....	41
4.3.1 Výpočet minimální tloušťky stěny v řezu A-A.....	42
4.3.2 Výpočet minimální tloušťky stěny v řezu B-B	43
4.4 Pevnostní výpočet tělesa metodou konečných prvků.....	43
4.4.1 Simulace napětí při provozních podmínkách	44
4.4.2 Simulace napětí při zkušebních podmínkách	45
4.5 Kontrolní výpočet vřetena.....	46
4.5.1 Pevnostní kontrola vřetena v minimálním průřezu.....	46

4.5.2	Osové napětí ve vřetenu	48
4.6	Výpočet lichoběžníkového závitu	50
4.7	Výpočet klínu a sedel.....	52
5	Závěr	55
6	Citace	58
7	Seznam příloh	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Jednotka	Popis
c_2	mm	Korozivní přídavek
D_{hdr}	mm	Vnější průměr víka
D_{pru}	mm	Vnější průměr přivařovacího konce
D_{st}	mm	Střední průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"
D_{ml}	mm	Malý průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"
D_{vl}	mm	Velký průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"
d_{hrd}	mm	Vnitřní průměr víka
d_{pru}	mm	Vnitřní průměr přivařovacího konce
$d_{vř}$	mm	Minimální průměr vřetena
d_T	mm	Vnější průměr závitů
d_1	mm	Vnitřní průměr závitů
h	mm	Výpočtová délka závitu
k	-	Koeficient bezpečnosti pro armatury
K_m	-	Koeficient deformace závitů
K_1	-	Koeficient bezpečnosti závitů
M_{poh}	N.mm	Maximální kroutící moment pohonu
M_{kp}	N.m	Výpočtový kroutící moment
m_1	-	Materiálový koeficient
m_2	-	Tloušťkový koeficient
m_3	-	Koeficient povrchové úpravy
n	-	Koeficient bezpečnosti vřetena
n_2	-	Koeficient bezpečnosti
P_h	MPa	Udávaný tlak hydraulických zkoušek
P_h^*	MPa	Minimální tlak hydraulických zkoušek
P	MPa	Výpočtový tlak
Q_{OM}	N	Síla působící na vřeteno
Q_{MAX}	N	Maximální silové zatížení vřetena
Q_{med}	N	Pracovní tlak média na klín
$Q_{tēs}$	N	Protitlak těsnění
$R_{p0,2}^T$	MPa	Mez kluzu při provozních podmínkách
$R_{p0,2}^h$	MPa	Mez kluzu při zkušebních podmínkách
R_m^T	MPa	Provozní odpor při provozních podmínkách
R_m	MPa	Provozní odpor
$R_{p0,2}$	MPa	Mez kluzu

$R_{p0,2.v}$	MPa	Mez kluzu vřetena
R_m^v	MPa	Provozní odpor vřetena
$R_{p0,2.d}$	MPa	Mez kluzu dorazu
$R_{p0,2.k}$	MPa	Mez kluzu
R_m^k	MPa	Provozní odpor sedel a klínu
S	mm	Tloušťka stěny
S_{Ra}	mm	Minimální tloušťka stěny přivařovacího konce
S_a	mm	Zvolená tloušťka stěny přivařovacího konce
S_{Rb}	mm	Minimální tloušťka stěny příruby
S_b	mm	Zvolená tloušťka stěny příruby
$S_{vř}$	mm ²	Minimální průřez vřetena
T	°C	Výpočtová teplota
t_h	°C	Zkušební teplota
t_v	°C	Teplota vřetena v minimálním průřezu vřetena
t_T	mm	Rozpeč závitů
z	-	Stupeň chodu závitů
W_k	mm ³	Odporový moment v krutu
σ	MPa	Normální dovolené napětí
σ_T	MPa	Dovolené napětí při provozních podmínkách
σ_h	MPa	Dovolené napětí při zkušebních podmínkách
$\sigma_{dov.t}$	MPa	Dovolené membránové namáhání tělesa
σ_{tl}	MPa	Napětí v tlaku v nejmenším průřezu vřetena
$\sigma_{tl.p}$	MPa	Napětí v tlaku při výpočtu vřetena na pevnost
σ_k	MPa	Napětí mezi vřetenem a dorazem
$\sigma_{vř}$	MPa	Jmenovité dovolené napětí vřetena
σ_c	MPa	Tlakové napětí v minimálním průřezu vřetena
$\sigma_{red.v}$	MPa	Redukované napětí v minimálním průřezu vřetena
σ_{dov}	MPa	Dovolené napětí v krutu
$\sigma_{p0,2}^b$	MPa	Mez kluzu vřetena
$\sigma_{p0,2}^r$	MPa	Mez kluzu převlečné matice
σ_{smyk}	MPa	Smykové napětí v závitech
σ_T	MPa	Dovolené napětí
$\sigma_{h.k}$	MPa	Maximální napětí ve stěně klínu
$\sigma_{dov.k}$	MPa	Dovolené napětí v ohybu, v těsnících plochách sedel a klínu
τ_v	MPa	Krut v minimálním průřezu vřetena
τ_{cp}	MPa	Smykové napětí v závitě

$\tau_{cp.v}^b$	Mpa	Dovolené smykové napětí v závitu vřetena
$\tau_{cp.m}^b$	MPa	Dovolené smykové napětí v závitu matice
φ	-	Svarový koeficient

ÚVOD

Armatury, které jsou vyráběny v České republice, jsou celosvětově uznávané. Nachází uplatnění v různých oblastech a zařízeních napříč průmyslem. Tato diplomová práce se konkrétně zabývá armaturou pro jadernou energetiku. V budoucnosti může sloužit v kontrolním a ochranném systému, kde musí být řešena tak, aby s dostatečnou rezervou zabezpečila normální provoz elektrárny. Odběratel může zvolit parametry armatury, jako jsou materiálové varianty dílců, připojovací konce, typ pohonu, nátěr a jiné.

Předmětem diplomové práce je návrh vysokotlakého klínového šoupátka DN300 s tlakovou třídou DN180 pro jadernou energetiku, určeného pro primární okruh jaderné elektrárny. Dílčím cílem práce je vyřešení poškození šoupátka po cyklických zkouškách ve zkušebně. Výše zmíněné cyklické zkoušky probíhají v certifikované zkušebně za přísných podmínek, které udává zkušební norma. Laboratoře se mimo jiné zabývají seizmickými zkouškami, dále mechanickou odolností vůči působení vibrací a rázu v důsledku působení proudění média. Armatury se vždy zkouší na plnou provozní kapacitu a při plném provozním tlaku. Konstrukční návrh je podložen analýzou a kontrolními výpočty ověřující části šoupátka jak při provozních podmínkách, tak zkušebních podmínkách v laboratoři.

Při psaní diplomové práce jsem čerpal z odborné literatury zabývající se problematikou armatur a jaderné energetiky. Před samotným psaním diplomové práce jsem se musel důkladně seznámit s fungováním primárního okruhu jaderných elektráren, k tomu mi dopomohly publikace Ядерные энергетические установки: учебное пособие [1] a Атомная энергетика: состояние, проблемы, перспективы [2]. Velké množství podkladů, ze kterých jsem při psaní vycházel, bylo napsáno v ruském jazyce. Z česky psané odborné literatury jsem při psaní diplomové práce čerpal zejména z publikací Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů [3], Řešené příklady z částí a mechanismů strojů [4], Výpočet a konstrukce strojních dílů [5], Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů [6]. Další potřebné podklady pro vytvoření diplomové práce byly poskytnuty společností MSA, a.s., konkrétně jsem se inspiroval jejich produkty a volně na ně navázal. [7]

Společnost MSA a.s., sídlící v Dolním Benešově, má dlouholetou tradici. Vznik firmy se datuje do roku 1890. Nyní společnost zaměstnává téměř 400 zaměstnanců. Od dubna 2021 spadá pod holding Трубная Металлургическая Компания (TMK group). MSA, a.s. je zaměřena na průmyslové armatury různých průmyslových odvětví, zejména pro ropný a plynárenský průmysl. Armatury pro jadernou energetiku tvoří užší produkci společnosti, přibližně 5 % výroby.

Již šestým rokem pracuji ve výše uvedené firmě na pozici konstruktéra. Odborné ruské zdroje, které jsem použil při psaní této práce, jsem si sám volně přeložil.

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA ŠOUPÁTKA

Průmyslové armatury jsou navrženy a vyráběny pro širokou škálu užití ve strojírenství. Armatury lze obecně rozdělit na uzavírací, regulační, škrtící, zpětné, odlehčovací a pojistné. Hlavními parametry pro konstrukci jsou pracovní médium a požadovaná funkce armatury. Účel použití ovlivňuje volbu materiálu a konstrukčního provedení. Pro docílení potřebné funkce lze v určitých případech použít více konstrukčních principů, příkladem, pro uzavření průtoků lze použít ventil, šoupátko případně kulový kohout. Uzavírací armatury jsou nejrozsáhlejší skupinou průmyslových armatur. Základním účelem uzavíracích armatur je přerušení proudu pracovní látky a uzavření úseku potrubí a zařízení. [8] V případě potřeby škrcení a regulace průtoku jsou používány především ventily. K zabránění zpětného proudění pracovního média jsou použity ventily nebo klapky. Ventily jsou rovněž používány jako pojišťovací a odlehčovací armatura. [9]

Vhodnost volby konstrukčního provedení bývá často ohraničena pracovními podmínkami. Určité skupiny armatur jsou využívány pouze pro jedno odvětví průmyslu. [8] Mezi tyto specifické armatury patří taktéž šoupátko řešené v této diplomové práci, které je určeno pro užití v oblasti jaderné energetiky.

Armatury jsou nedílnou součástí jaderné energetiky. V samotném počátku výstavby jaderných elektráren nebyla věnována příliš velká pozornost na vývoj speciálních armatur, nicméně v dnešní době jsou kladeny požadavky na vysoký standard armatur pro toto odvětví. Armatury pro jadernou energetiku byly do jisté míry odvozovány od konstrukce klasických armatur. Funkční vlastnosti jednotlivých druhů armatur jsou v podstatě obdobné jako při konvenčním použití v elektrárnách nebo ve vodárenství. Celkové kvalitní provedení armatur zabezpečí bezpečný a spolehlivý provoz jaderných elektráren. Díky složitým provozním podmínkám jsou armatury pro jaderné elektrárny mnohem spolehlivější než armatury konvenčních elektráren.

V primárním okruhu jaderné elektrárny se využívá minimální nutný počet armatur, a to především z důvodu nepřístupnosti prostoru, v kterém jsou armatury umístěny. Jejich konstrukce musí být podřízena možnostem dálkového ovládaní. Tentýž důvod platí pro nejvyšší spolehlivost jak u použitého materiálu, tak v konstrukci armatur. Pro primární okruh reaktoru, chlazený chladicí kapalinou, a homogenních reaktorů, je důležité klín i sedlo vyrobít z kovového materiálu, např. z nerezové oceli nebo stelitu. Míra těsnosti stoupá s tvrdostí povrchu těsnících ploch. Těsnostní zkoušky armatur jsou totožné jako u zkoušek potrubí. Nejpravděpodobnějším výskytem netěsností se jeví uzavírací prvek armatur a jeho pohyblivá část, např. klín šoupátka a vřeteno šoupátka a k nim příslušející dosedací plochy.

Významnou pozornost je potřeba věnovat kovovým těsnícím materiálům a jejich chemickému složení. Důsledkem vzájemného otěru se částice materiálu dostávají do primárního okruhu, kdy při průchodu média reaktorem jsou ozářeny neutrony, takže se stávají radioaktivními. V armaturách je zakázáno používat prvky kobaltu (maximální povolené množství do 0,2 %), které způsobují výskyt umělých radioaktivních izotopů s dlouhým poločasem rozpadu, jelikož zvyšují hladinu radioaktivního zamoření primárního okruhu, v důsledku toho je obtížnější jeho oprava, údržba a obsluha. [9]

1.1 Druhy průmyslových šoupátek

Šoupátka plní funkci uzavíracích armatur. Primárně se používají pro celkové uzavření potrubí, kdy je klín v poloze zcela otevřený, nebo zcela zavřený. Nejsou určeny k regulaci toku pracovního média. Jako pracovní média jsou nejčastěji používány neagresivní kapaliny, voda, pára, vzduch, plyny skupiny 1 a 2, ropné a jiné produkty.

Šoupátka je možné rozdělit především dle rozměrů průtoků. Podle tohoto parametru je lze seřadit od DN 15 až do DN 1500 mm. Druhým hlavním parametrem dělení šoupátek, je dělení podle pracovního tlaku, který se pohybuje na škále od 0,6 MPa až do 42 MPa. Díky kombinaci kovového a grafitového těsnění, lze šoupátka využít pro vysoké rozsahy teplot a tlaku. Dokonalé těsnosti se dosáhne přesným lapováním sedel, které je ovšem pracné a prodlužuje celkový výrobní proces. Pro dlouhou životnost je klíčová ochrana proti korozi a celková konzervace, která slouží pro uchování dobrého stavu armatury při dlouhém skladování.

Šoupátka mohou být třmenová nebo víková s nezúženým průtokem, pevným nebo pružným klínem, stoupajícím či nestoupajícím vřetenem. Těleso a víko jsou svařence nebo odlitky spojené pomocí přírubového spojení, jako materiál tělesa a víka lze také použít kovanou uhlíkovou a legovanou ocel. Těsnicí plochy sedel a klínu jsou provedeny dle API 6D. Těsnicí plocha sedel může být navařena přímo na těleso nebo je sedlový kroužek s návarem zavařen k tělesu.

Druh šoupátka se vybírá dle oblasti, ve které má být daná armatura použita. Obecně se klade velký důraz na pracovní médium, jeho chemické a fyzikální vlastnosti. [8] Níže jsou popsány nejrozšířenější druhy šoupátek. [8]

Šoupátko klínové

U klínového šoupátka menších rozměrů je uzavíracím prvkem pevný klín, naopak u větších klínových šoupátek je klín pružný, který je podvolen tlaku média a tím dovoluje lepe přilnout klínu na sedla. Ty jsou umístěny v tělesu klínového šoupátka. Pokud je médium pára s vyšší teplotou a vyšším tlakem, těsnicí prvek tvoří dvě desky s rozpěrnou čoučkou, takzvaný pomocný klín. Klínové šoupátko je znázorněno na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 – Konstruktivní schéma klínového šoupátka

Šoupátko paralelní

Od předchozího typu šoupátka se odlišuje principem uzavírání. Těsnicím prvkem jsou dvě desky přitlačované k sedlům pomocí dvou rozpěrných kroužků. Desky jsou přitisknuty buď pracovním tlakem média, pružinami nebo klínovým ustrojem. Paralelní šoupátko je znázorněno na obrázku 1.2.



Obrázek 1.2 – Šoupátko paralelní

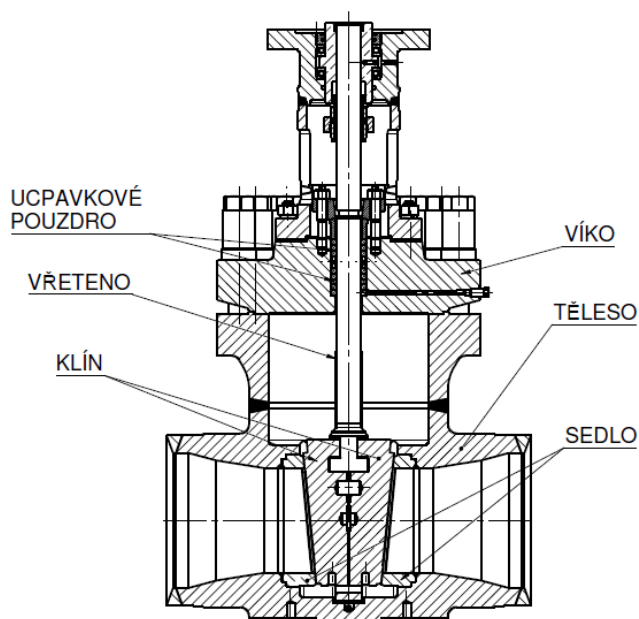
Šoupátko deskové

U tohoto typu šoupátka tvoří uzavírací element paralelní deska s kruhovým otvorem, která je po celou dobu funkčního cyklu v přímém kontaktu se sedly šoupátka. Těsnící plochy desky a sedel jsou velice citlivé na tvrdé nečistoty v médiu. Pro odstranění zbytkového písku a pevných částic z média slouží filtry umístěné před armaturou. Na obrázku 1.3 je vyobrazeno deskové šoupátko.



Obrázek 1.3 – Šoupátko deskové

Obrázek 1.4. znázorňuje hlavní konstrukční prvky klínového šoupátka. Text pod obrázkem tyto hlavní konstrukční prvky klínového šoupátka blíže definuje.



Obrázek 1.4 – Hlavní konstrukční prvky klínového šoupátka

Těleso

Jedná se o tlakotěsnou obálku, která v sobě ukrývá těsnící prvky (klíny a sedla). Je uzpůsobeno tak, aby nemohlo docházet k únikům pracovního média do atmosféry. V průtokové části je vybaveno připojovacími konci, které mohou být tvořeny svarovou hranou, popřípadě přírubami. Přírubou rozumíme připojovací prvek armatur a potrubí, které se užívají ke spojení trubek mezi sebou či k jejímu zaslepení pomocí spojovacího materiálu (šroubů a matic). Pomocí připojovací úpravy může dojít k tlakotěsnému připojení na potrubí.

Klín

Ucpávkový prvek, který se pohybuje nahoru a dolů, přičemž ve spodní poloze pevně přiléhá na sedla a tím dochází k utěsnění proudu pracovního média v potrubí.

Sedlo

Jde o kovové kroužky zavařené do sedlových kapes tělesa. Jejich těsnicí plochy jsou vůči sobě zkosené a vytvářejí dosedací plochu pro klín. Úkos sedel a klínu musí být totožný, aby byla docílená požadovaná těsnost.

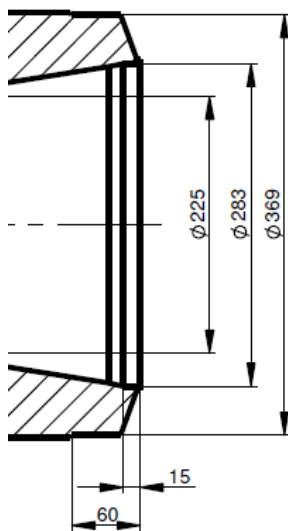
Vřeteno

Jedná se o kovovou tyč, která je spojovacím prvkem mezi klínem a pohonem klínového šoupátka. Je upraveno tak, aby ve spodní části bylo pevně uchyceno v klínu. Horní část naopak přenáší krouticí moment vyvinutý pohonem na klín. Rozlišují se šoupátka se stoupavým a nestoupavým vřetenem.

Víko

Jde o konstrukční prvek, který je pevně uchycen na přírubě tělesa pomocí šroubů a matic. Jeho středem prochází vřeteno, které je při cyklickém pohybu těsněno sadou ucpávkových pouzder volených dle pracovních podmínek šoupátka.

Šoupátka jsou oboustranně těsnicí. Spoj těleso-víko a utěsnění ucpávky je provedeno pomocí těsnění, které zaručuje dlouhodobou životnost pro požadovanou pracovní látku. Šoupátka s pevným klínem splňují požadavky na automatické uvolnění přetlaku z dutiny tělesa. Pokud jsou šoupátka vybavena pružným klínem, uvolnění tlaku se provádí pomocí provrtání jedné desky klínu šoupátka, speciálního ventilu zabudovaného v klínu, vnějšího obtoku nebo použití pevného klínu. Typ připojení se rozděluje na přírubové dle EN 1092-1 nebo podle GOST. Přivařovací připojení je podle EN 12627 (viz obrázek 1.5). [10]



Obrázek 1.5 – Přivařovací konec klínového šoupátka

Šoupátka mohou být vybavena příslušenstvím, které odpovídá danému pracovnímu prostředí. Mezi tyto příslušenství spadá odvodňovací armatura, odvzdušňovací armatura, obtokové armatury, stojany na dálkové ovládání, odvzdušňovací zátka a ucpávka „live loading“.

Šoupátka jsou zkoušena dle požadovaných standardů, převážně vodou na pevnost, nepropustnost, těsnost uzávěrů, funkčnost dle EN 12266. Na základě dohody lze provádět i jiné zkoušky.

1.2 Ovládací prvky šoupátek

Ovládacím prvkem armatury je pohon. Ten vykonává kroutící moment a sílu potřebnou ke zvednutí klínu. Montáž šoupátek lze provádět do vodorovného nebo svislého potrubí dle montážně-provozních pokynů výrobce. V případě šoupátka s elektrickým nebo pneumatickým pohonem je nutné se řídit ustanovením výrobce pohonů. Šoupátka mohou být ovládaná ručně (kolem), elektropohonem, pneumatickým pohonem či pohonem umístěným mimo armaturu – tzv. dálkovým ovládáním.

Ovládaní ručním kolem

Ruční kolo je na vřetenové matici šoupátka instalováno přímo, nebo přes reduktor. V krajní uzavřené poloze armatury, je možné u těchto šoupátek, pro zvýšení krouticího momentu využít úder ručního kola (v případě úderového ručního kola).

Ovládání elektropohonem

Pohon je instalován přímo na šoupátko, nebo přes reduktor. Použitý typ elektropohonu a reduktoru musí být uveden v technické dokumentaci a je volen dle konstrukce a požadavků zákazníka. Technický popis a provozní předpisy elektropohonů a reduktorů jsou doloženy k technické dokumentaci armatury.

Dálkové ovládání

Ovládacím prvkem je Hookův kloub, který je instalován na vstupní hřídeli nástavce, nebo čelní (válcové) převodovce. Navazující zařízení pro dálkové ovládání není součástí sestavy šoupátka.

Dálkové ovládání – kuželová převodovka

Šoupátko, které je ovládáno dálkově pomocí kuželové převodovky, má jako ovládací prvek Hookův kloub, který se montuje na vstupní hřídel kuželové převodovky. Navazující zařízení pro dálkové ovládání není součástí sestavy šoupátka.

Pneumatické pohony

Vysokorychlostní šoupátka s pneumatickým pohonem plní funkci rychločinných uzavíracích ventilů nebo ventilů s požadavkem na rychlou reakční dobu uzavření. Využívají se pro plně otevřené, nebo plně uzavřené proudění média a nejsou určeny k regulaci proudění průtoku.

Pneumatické pohony pracují na dvou principech. První varianta pneumatického pohonu spočívá v tom, že ventil, který je uveden do otevřené polohy pouze vzduchovou pružinou lze držet v otevřené poloze po neomezenou dobu. Uzavření armatury a přidržení klínu v zavřené poloze je možné pouze přivedením stlačeného vzduchu do pohonu z externího zdroje. Druhá varianta pneumatického pohonu je obdobná, liší se v prohození otevřeného a zavřené stavu. Ventil se dostane do uzavřené polohy pouze vzduchovou pružinou a lze ho držet v uzavřené poloze po neomezenou dobu. K otevření a udržení armatury v otevřeném stavu je zapotřebí přivést do pohonu stlačený vzduch z externího zdroje. [11]

Obrázek 1.6 zobrazuje rychločinný pneumatický pohon.



Obrázek 1.6 – Rychločinný pneumatický pohon

1.3 Výrobní požadavky

Vyrobitelnost dílu je do značné míry dána racionalitou způsobu obrábění obrobku. Obrobky jsou převážně zpracovávány předválcováním, kováním, lisováním a svařováním. Při volbě metody zpracování jsou hlavními parametry objem výroby, rozměry součástí, časový průběh technologie výroby, materiál součástí, který předurčuje zejména možnost a proveditelnost použití určitého typu odlití, např. lití do pískových a skořepinových forem, lití do chladicích forem, lití pod tlakem. Odlévané či kované polotovary se obvykle obrábějí na mnoha površích, a to na rozdíl od lisovaných polotovarů, které mají během procesu zajištěnou přesnost a kvalitu povrchu.

Jednotlivé součásti a sestavy musí být při opracování zbaveny rzi, nečistot, olejových skvrn a přebytku maziva. Otřepy a škrábance jsou nepřijatelné. Drsnost povrchové úpravy lisovaných, kovaných a svařovaných tvarovek, které jsou v kontaktu s médiem, by neměla být vyšší než $Ra=6,3\mu m$. Na těžko přístupných místech je povolena drsnost až $Ra=12,5\mu m$.

Drsnost vnějších ploch nesmí být vyšší než $Ra=100\mu m$, nebo musí splňovat požadavky nedestruktivních zkoušek a nátěrových specifikací. Válcová část vřetena procházející těsnící částí ucpávky musí mít drsnost menší než $Ra=0,2\mu m$. [12]

Při obrábění dílců nejsou povoleny ostré rohy a hrany. Svařované tvarové dílce musí být dodávány s opracovanými tupými svary. Tloušťka stěny přivařovacího konce musí být stejná, nebo vyšší pevnosti než potrubí, ke kterému je armatura přivařena. Ucpávkový materiál a ucpávkové kroužky šoupátek jsou umístěny do ucpávky podle technologického postupu, jejich správné umístění zaručuje spolehlivý provoz ucpávky. Výška složeného ucpávkového těsnění šoupátka po konečném utažení musí být taková, aby pouzdro ucpávky zapadlo do sedla nejméně o 3 mm, a ne více než o 30 % jeho výšky.

Rozdíl mezi pevností polotovarů šroubu a matice, musí být minimálně o 12 BH menší než pevnost jejich závitů. Zatímco pevnost matice musí být menší než pevnost šroubu. Na vnější povrchy dílců vyrobených z uhlíkové oceli, se nanáší nejméně dvě vrstvy nátěrů. Tloušťka povlaku se pohybuje mezi 100 až 200 μm . Armatury u nerezové oceli nejsou natírány. Šrouby, matice ani prostor mezi přírubami není natírán. Jsou opatřeny antikoročním povlakem o tloušťce vrstvy $0,015 \pm 0,005$ mm.

U šoupátek s horním těsněním je umožněna kontrola jejich těsnosti. Únik média přes horní těsnění není povolen. Těsnost přírubových spojení těleso-víko musí být zajištěna lapovanými plochami nebo těsněním. Konstrukce přírubového spojení šoupátek určených pro práci v radioaktivním prostředí poskytuje možnost dodatečného utěsnění svarovým švem. Spoj tělesa s víkem musí být utažen vhodným krouticím momentem, který je předepsaný ve výrobní dokumentaci.

Je umožněno vyrábět armatury pro tlak $P_p \leq 10$ MPa, které nejsou v kontaktu s radioaktivním médiem. U těchto šoupátek nemusí být odvzdušňovací zátky, pokud je šoupátko naplněno vodou o teplotě 20 °C, tlaku $P_p=0,1$ MPa a objem vzduchu nesmí překročit 30 % objemu vnitřní dutiny armatury.

V případě, že dochází na šoupátku ke svařování, navařování nebo tepelnému zpracování je potřeba dodržovat technologické postupy a pokyny předepsané v technické dokumentaci. Technologie tepelného zpracování má vyloučit deformaci a jiné tvarové deformace, které přesahují tolerance stanovené technickou dokumentací.

1.4 Požadavky na spolehlivost

Při provozování šoupátek je doporučeno každých 15 tisíc hodin nepřetržitého provozu provést externí prohlídku těsnících prvků, dotažení matic a šroubů na výpočtový utahovací moment, aby nedošlo k nežádoucí poruše. [13]

Jednotlivé armatury mají dle svých specifikací a prostředí, ve kterém jsou provozovány, určitou spolehlivost, ve které se musí pohybovat. Níže jsou definovány pravděpodobnosti bezporuchového provozu před generální opravou [%]:

- armatura ovládaná elektropohonem, provozovaná za běžného provozu	0,95
- armatura ovládaná elektropohonem s převodovkou, provozovaná za normálních podmínek	0,93
- armatura s ručním ovládáním	0,98
- armatura s ručním ovládáním a převodovkou	0,96
- armatura s distančním ovládáním	0,96
- armatura s distančním ovládáním a převodovkou	0,95

Minimální spolehlivosti pro výpočet dolní meze spolehlivosti bezporuchového chodu [%]:

- pro armatury zabudované v bezpečném provozu	0,95
- pro armatury zabudované v běžném provozu	0,9
- průměrná hodinová doba od uvedení do provozu k poruše	1x10 ⁵
- koeficient provozní spolehlivosti	0,987

Stanovená životnost armatury v letech: 60

Stanovení hraničních cyklů ke generální opravě:

- pro armatury pracující v běžném provozu	500
- pro rychločinné armatury	250
- pro oboustranné armatury pracující v bezpečnostním provozu	250

Stanovení doby do generální opravy v letech: 12

Hlavní příčiny poruch armatur:

- Ztráta těsnosti vůči vnějšímu prostředí přes těsnící prvky armatury;
- ztráta těsnosti vůči vnějšímu prostředí přes pohyblivé součásti (vřeteno);
- ztráta těsnosti vůči vnitřním prostorům armatury a stranám potrubí;
- zaklínění pohyblivých součástí (vřeteno);
- čas přemístění klínu (otevřeno-zavřeno) se neshoduje s časem předepsaným v technické dokumentaci;
- provozuschopnost armatury neodpovídá podmínkám předepsaným v technické dokumentaci.

Seznam možných kritických poruch (nebezpečných pro zdraví obsluhy, životní prostředí a ekonomické ztráty):

- Destrukce konstrukčních prvků za působení pracovního média pod tlakem;
- ztráta těsnosti vůči vnějšímu prostředí přes těsnicí prvky a prvky armatury, které zabraňují ztrátě tlaku;
- ztráta těsnosti vůči vnějšímu prostředí přes vřeteno;
- vzestup teploty v oblasti tření;
- začínající deformace tlakotěsné obálky;
- navýšení určeného kroutícího momentu pro otevření, nebo zavření armatury více než na 10 %.

Po uplynutí čtyř let provozu se provádí technická prohlídka s otevřením ventilu a nezbytnou opravou, která spočívá ve výměně jednotlivých opotřebovaných dílů ze seznamu přiloženého k armatuře. [14]

Po celou dobu své životnosti musí být armatura plně funkční. Rozhodujícím faktorem pro životnost armatury je rychlost média. V případě, že je pracovní médium voda, jsou rychlosti média následující:

- Pokud je rychlost vody do 5 m/s, v normálním pracovním režimu, je životnost armatury stanovená na dobu 60 let, či dle životnosti stanovené dodavatelem.
- pokud je rychlost vody v potrubí do 7,5 m/s, v normálním pracovním režimu, je celková životnost armatury stanovená na dobu 1000 pracovních hodin;
- pokud je rychlost vody v potrubí do 25 m/s, v normálním pracovním režimu, je celková životnost armatury stanovená na dobu 10 pracovních hodin.

V případě, že je pracovní médium pára, jsou rychlosti média následující:

- Pokud je rychlost páry do 60 m/s, v normálním pracovním režimu, je životnost armatury stanovená na dobu 60 let, či dle životnosti stanovené dodavatelem.
- pokud je rychlost páry v potrubí do 100 m/s, v normálním pracovním režimu, je celková životnost armatury stanovená dobu 1000 pracovních hodin.

Pracovními hodinami je myšlena přístavní doba těsnicího prvku (klín, deska) při otevírání a zavírání armatury.

1.5 Požadavky na polotovary

Polotovary pro součásti šoupátka musí splňovat požadavky předepsané v technické dokumentaci. Je nezbytné, aby byly doprovázeny příslušnou dokumentací, kterou lze ověřit příslušnými zkouškami. U armatur vyrobených v nerezovém provedení s vnější povrchovou plochou menší než 10 m², které přichází do kontaktu s chladicí kapalinou v primárním okruhu jaderné energetiky, by obsah kobaltu neměl být vyšší než 0,2 %.

Použití polotovaru hlavních dílců a spojovacího materiálu vyrobeného ze slitin mědi, nebo slitin mědi pro výrobu dílů přicházejících do styku s chladicí kapalinou, či s pracovním médiem, není povoleno. Taktéž je zakázáno použití azbestu. Těsnivo a těsnicí prvky musí být schváleny výrobcem těsnění, výrobcem armatury a provozní organizací. Technická dokumentace k dané armatuře musí obsahovat fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu, podmínky použití, skladovatelnost, možnost opakovaného použití. Změna typu těsnění, které je schváleno pro danou armaturu, musí být odsouhlasena výrobcem a provozní organizací.

1.6 Požadavky na zkoušení armatur

Kontrolními zkouškami je dokazováno, zda vyráběné armatury jsou určeny pro provoz a jejich výroba proběhla správně, bez sebemenších závad. Zkouškami jsou ověřovány především vlastnosti, u kterých může dojít k jinak těžko zjiitelným vadám v průběhu technologického procesu. Dané zkoušky jsou pro uzavírací armatury směrodatné. Pro jiné typy armatur jsou ověřovací zkoušky udávány dle technické dokumentace. Uvedené zkoušky jsou statického charakteru, v takovém případě pracovní látka v armatuře neproudí. Armatura je zkušební látkou naplněna, pro samotnou zkoušku je potřeba pouze malé množství. Zkušební zařízení se ve většině případů skládá z čerpadla, ze zásobníku zkušební látky, z rozvodních potrubí, které přivádějí a odvádějí zkušební kapalinu mezi armaturou a zásobníkem, a zkušební stolice na které je armatura upevněna. [15]

Při zkouškách pevnosti vysokotlakých armatur jsou prováděny rentgenové snímky choullostivých míst. Pro provoz v jaderných elektrárnách může být vnější těsnost armatur ověřena specifickými kontrolními zkouškami, například heliovými.

Šoupátka vyráběna sériově a kusově jsou podrobena následujícím typům zkoušek v určitém rozsahu:

- Kontrolní zkoušky jsou prováděny na prototypch, popřípadě na hlavní sérii;
- náhodné zkoušky jsou prováděny při sériové výrobě šoupátek, nebo na vzorových sériích;
- periodické zkoušky jsou prováděny na armaturách z odlišných sérii;
- další kontrolní zkoušky jsou prováděny na všech vyrobených armaturách.

Každá vyráběná armatura se musí podrobit kontrolním zkouškám dle technické dokumentace. Kontrolní zkoušky jsou souborem několika testů, při kterých je stanovena kvalita výrobku. Podle těchto zkoušek je rozhodováno, zda bude armatura začleněná do provozu. Před samotným testováním prochází každá armatura vizuální a rozměrovou kontrolou. Pořadí jednotlivých testů je stanoveno příslušnou metodikou zkoušek:

- Hydraulické zkoušky jsou prováděny po zkouškách na pevnost a těsnost hlavních dílců a tlakotěsných svarů, které jsou namáhány tlakem pracovního média a také pro ověření těsnosti rozebíratelných spojů a svarových spojů;
- zkouška tlakotěsnosti horního víka šoupátka a víkového těsnění;
- funkční zkoušky;
- tlakotěsnicí zkoušky na těsnost klínu a sedel.

Je požadováno, aby armatura v průběhu zkoušek zaujímala vodorovnou, nebo svislou polohu. Hydraulické zkoušky jsou prováděny vodou s minimální teplotou +5 °C. V průběhu zkoušek, po ustálení tlaku, je zapotřebí udržet tlak v prostoru šoupátka nejméně 10 minut na nezměněné hodnotě. Po této době se tlak sníží na 4/5 zkušební tlaku a provede se vizuální kontrola vnější obálky šoupátka a zkontroluje se tlakotěsnost armatury. Zkouška se považuje za vyhovující, pokud nejsou nalezeny žádné praskliny, těsnost je nulová a nejsou viditelné žádné deformace.

Při zkouškách za tepla se zkoušejí obdobné vlastnosti armatur jako při zkouškách za studena (pevnost a nepropustnost, těsnost a sklon k zadírání). Zkoušky s teplým médiem jsou prováděny na parních zkušebních zařízeních nebo ve vysokotlakých parních zkušebnách. Zkušebny jsou vybaveny buď vlastním zdrojem přehřáté páry (vysokotlaký parní kotel), nebo jsou umístěny blízko parních elektráren a přehřátou páru odebírají z jeho provozu. Zkušebny vybavené parním kotlem disponují pouze malým množstvím páry (0,5 až 3 t/h). Obrázek 1.7 zobrazuje zkušební stolici.



Obrázek 1.7 – Zkušební stolice KSK VZ 40 T

Ověření funkčních zkoušek a schopnost plynulého chodu pohyblivých částí se provádí celkově pěti cykly při tlaku pracovního média, při změně tlaku na jedné straně šoupátka tlak klesne na 0 MPa. Takto se sníží tlak na jedné straně armatury třikrát, na druhé dvakrát.

Zavírání a otevírání šoupátka se provádí elektropohonem a ukazatelem točivého momentu, který musí odpovídat výpočtovým momentům v technické dokumentaci. Následují dva cykly, během kterých dojde k otevření šoupátka pomocí ručního kola na elektropohonu. Je zapotřebí šoupátko otevřít na 100 %. V průběhu těchto zkoušek musí jeden cyklus odpovídat době předepsané v technické dokumentaci. Zvýšená doba, po kterou šoupátko udělá jeden cyklus, není přípustná. Pohyb by měl být plynulý, bez trhání a záseků (trhání v počáteční době cyklu není známka zvýšeného momentu). [15]

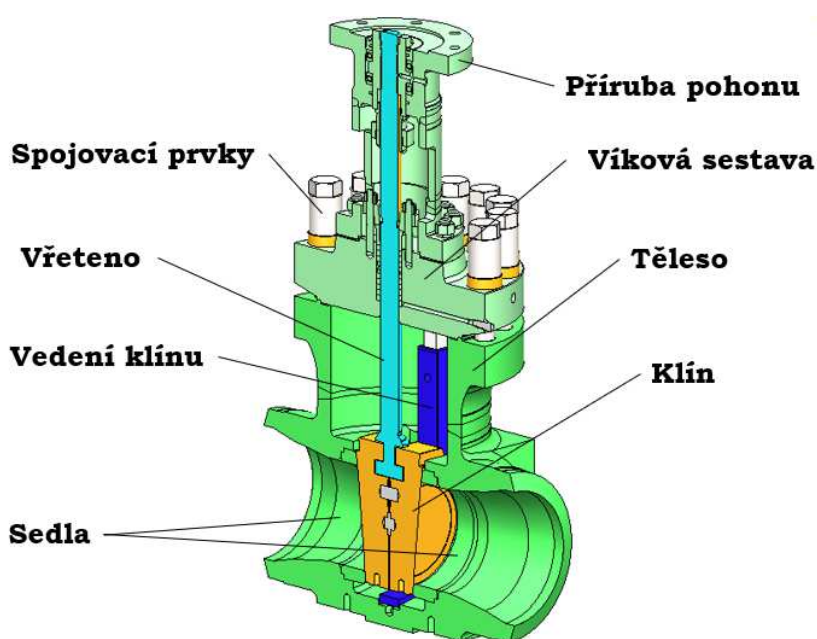
2 KONSTRUKCE KLÍNOVÉHO ŠOUPÁTKA

Podnětem pro návrh klínového šoupátka typu A00_DN300_PN250_Pp18 byla dlouhodobá poptávka na trhu průmyslových armatur. Určení vyrobitelnosti dané konstrukce byla prováděna na úrovni dílů, montážních jednotek a produktu jako celku. Pro vyrobitelnost platily obecné požadavky:

- Do celkové ceny jsou započteny náklady na obrobitelnost, provoz a opravy výrobků;
- celkové mzdové náklady na technologický proces výroby;
- účelem projekční práce je zajištění optimálního konstrukčního procesu, při kterém se dosáhne optimálních nákladů na všechny typy zdrojů během výroby a provozů armatury.

Při konstruování klínového šoupátka jsem musel brát v úvahu zejména oblast použití, kterým je jaderná energetika a přidružený provoz. Před vytvořením návrhu jsem se nejdříve musel seznámit se všeobecnými požadavky na výrobu armatur pro jadernou energetiku, ty jsou stručně popsány v podkapitole 1.3. Vzor konstrukce jsem převzal ze staršího šoupátka, vytvořeného pro plynárenský průmysl. Šoupátko, které je nyní provozováno v plynárenském průmyslu, má obdobné konstrukční prvky: těleso, víko, vřeteno, klín atd. Vnitřní schéma klínového šoupátka typu A00_DN300_PN250_Pp18 je znázorněno na obrázku 2.1.

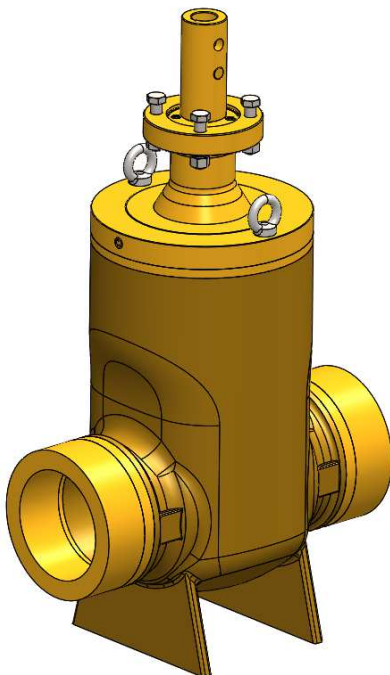
Hlavním rozdílem obou šoupátek je volba materiálu jednotlivých dílců. V průběhu navrhování jsem se potýkal s odlišnou tlakovou třídou, pracovním médiem a zejména jiným teplotním rozsahem. Nový typ klínového šoupátka je určen pro provoz v teplotách stoupajících až k 300 °C. Vysoká teplota měla klíčový vliv na volbu těsnících prvků, které tvořily zejména grafitové prvky.



Obrázek 2.1 – Vnitřní schéma klínového šoupátka

2.1 Původní konstrukční řešení

Jako vzor pro vytvoření klínového šoupátka jsem zvolil klasické šoupátko pro plynárenský průmysl (viz obrázek 2.2). V původní předloze je tlakotěsná obálka svařovaná, vřeteno je nestoupavé a převlečená matice je umístěna v klínu. Tělo je lité, bez příruby pro víko. Tato úprava je vhodná především pro provoz, ve kterém je nad armaturou nedostatek místa.



Obrázek 2.2 – Výchozí návrh klínového šoupátka

2.2 Požadované specifikace klínového šoupátka

Při navrhování tělesa klínového šoupátka jsem volil mezi provedením kovaném jednolitým, nebo kovaném a svařovaném z vlastního tělesa a příruby. Nakonec jsem vybral druhou z uvedených variant, postup při výběru je popsán v podkapitole 2.4. Základním materiálem pro tělo mohla být ocel 11 416, 22K či nerezová ocel 08X18H10T, kterou jsem nakonec zvolil. Návar sedel je proveden bezkobaltovou slitinou (C1111) o tvrdosti povrchu 48-56 HRC. Tento návar je určen k opravám a navaření velmi namáhaných ocelí. Obsahuje legury, karbidy chromu, manganu, vanadu, wolframu, titanu a jiné., v takovém poměru, aby návar vykazoval odpovídající vlastnosti. Ty mají velkou tvrdost a odolávají opotřebení. [16]

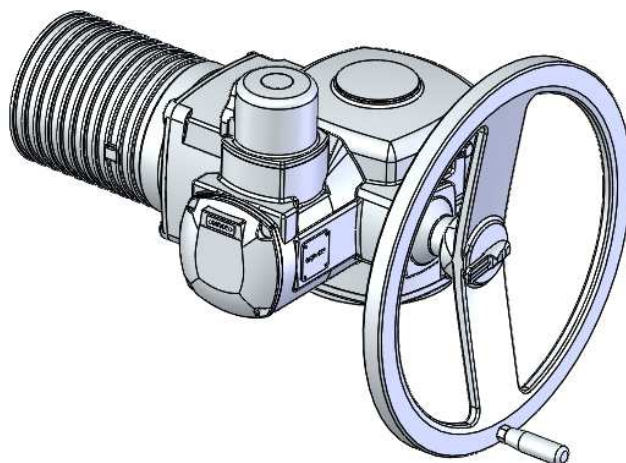
V tělesu je instalován klín. Pružný klín šoupátka pro armatury rozměru DN ≥ 200 je tvořen dvěma deskami. Vedení je k tělesu připevněno svařováním nebo mechanicky. Vzájemné postavení desek určují čepy, komplet talířových pružin a cívky, které volně přijímají sílu z talířových pružin.

Těsnicí plochy desek klínu jsou navařeny bezkobaltovou slitinou (C1111) o tvrdosti 48–56 HRC. Řez klínovým šoupátkem je vyobrazen na obrázku 2.1.

Na základě fyzikálních vlastností média (horka voda, pára), dochází vlivem vysokých teplot v těsně uzavřené dutině k prudkému zvýšení tlaku.

2.3 Princip práce klínového šoupátka

Šoupátko je ovládáno pohonem, vybíral jsem ze tří možností ovládání, a to mezi ovládáním ručním kolem, elektropohonem nebo ovládáním prostřednictvím řady kloubových spojení propojených s dálkovým elektropohonem. Nakonec jsem zvolil elektropohon od společnosti Auma, který je znázorněn na obrázku 2.3.



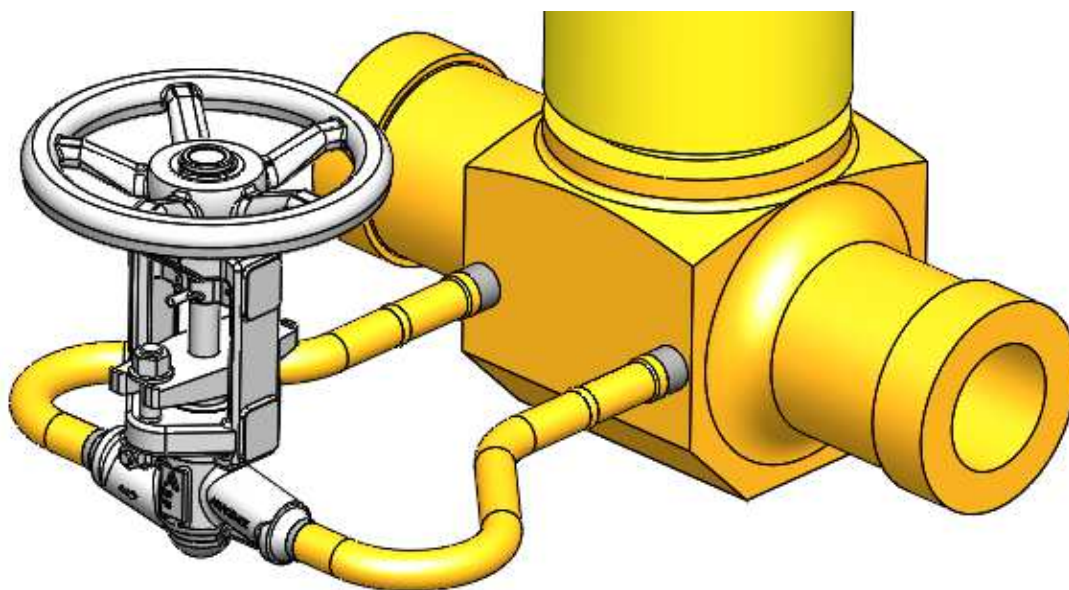
Obrázek 2.3 – Elektropohon Auma

Při přijetí signálu se elektropohon zapne a vytvoří žádaný točivý moment pro otevření nebo zavření s ohledem na výchozí polohu armatury. [17] Působením kroutícího momentu je zahájeno otáčení vřetenové matice a přemístění vřetená s klínem. Zastavení klínu ve spodní a vrchní poloze je umožněno na základě koncových spínačů elektropohonu. Chod klínu z polohy otevřeno (nastavení horní polohy od pohonu) do horního uzavěru, je 2–5 mm a je stanoven podle rostoucího kroutícího momentu, až do odpojení omezovací spojky kroutícího momentu pohonu.

Základní polohou armatury při přepravě, montáži a skladování je poloha uzavřená (klín je spuštěn do sedel). Spojení dělících desek šoupátka se stoupajícím vřetenem je volné, dělící desky klínu proto dosedají volně na těsnicí plochy sedel. Tímto je zaručena vyšší těsnost. Šoupátko je upraveno tak, že je těsně uzavřeno při účinku pracovního přetlaku z obou stran, to dovoluje použití do potrubí s oboustranným prouděním média.

Je doporučeno otevírat šoupátko s vyšším jednostranným tlakem při vyrovnaných tlacích na obou stranách armatury. Pro tento účel je navrhováno provozovateli šoupátek vybavit potrubí takzvaným obtokem.

Jedná se o separátní potrubí propojující potrubí na obou stranách šoupátka, které je vybaveno vlastními regulačními armaturami malých rozměrů. Obtok zajistí vyrovnání tlaku před a za šoupátkem, a zabráni tak nejen poruše ovládacích částí šoupátka, ale také pozvolnému plnění potrubí a jeho pozvolnému nahřívání pracovním médiem. Na obrázku 2.4 je patrné zabudování obtoku do sestavy šoupátka.



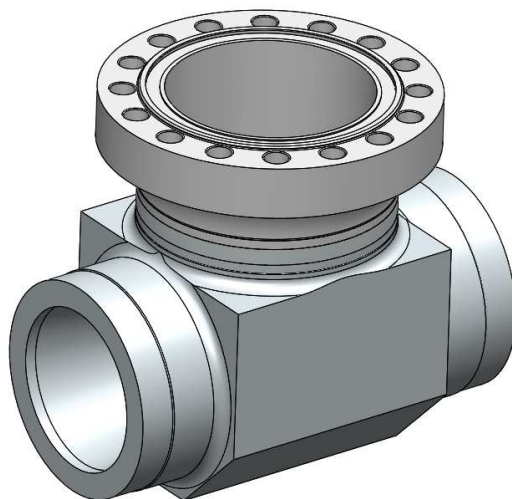
Obrázek 2.4 – Schématické umístění obtoku

Vnitřní průtočný průměr šoupátka je shodný s jeho jmenovitou světlostí. Rozšíření a zúžení průtočných průřezů je realizováno jako pozvolný přímý kuželový přechod, zvýšení průtočného odporu je ve srovnání s obdobným případem u ventilu poměrně menší. Z důvodu vysokého přetlaku a teploty jsem volil menší průměr těsnících ploch vůči větším průměrům potrubí. Při uzavření klínového šoupátka je stále zachován těsný styk těsnících ploch. Rozdíly teplot média jsou u uzavřené armatury velmi patrné, armatura je v tomto případě vystavena z jedné strany účinkům nejvyšších pracovních teplot a přetlaku, z druhé strany je přímo spojena s odstaveným potrubím, ve kterém je tlak i teplota téměř shodná s teplotou a tlakem prostředí ve kterém je potrubí umístěno.

2.4 Těleso klínového šoupátka

Základním materiálem tělesa konstruovaného šoupátka jsem zvolil nerezovou ocel 08X18H10T. Tento materiál lze charakterizovat jako vysoce legovanou ocel se zvýšenou odolností vůči korozi a vysokým teplotám. Tyto vlastnosti v mnoha ohledech určují rozsah jejího použití. Chemické složení materiálu má poměrně silné chrom-niklové složení, obsahuje 18 % chromu, 10 % niklu, 8 % uhlíku a 1 % titanu. Chemické a fyzikální vlastnosti materiálu jsou vhodné pro použití v primárním okruhu jaderných elektráren. Jedná se o optimální složení pro dosažení potřebné odolnosti proti korozi. Daný materiál patří do úzké škály materiálu, které lze pro tento účel použít. Tavení tohoto kovu vyžaduje přesné dodržení technologických norem. V opačném případě by došlo k vystavení materiálu intergranulární korozi, která se jeví hlavním nedostatkem většiny nerezových ocelí. Bylo prokázáno, že koroze nastává ve struktuře, pokud obsah mědi je menší než 7 %. Při nesprávném přetavení nerezové oceli dojde k vyhoření chemických prvků.

Prvotně jsem navrhl těleso z jednoho kusu kovaného polotovaru, kdy příruba víka byla součástí tělesa. U této varianty totiž není potřeba přivařování příruby k tělesu, dochází pouze k samotnému opracování. Opracování však bylo technologicky složité, rozměry polotovaru byly příliš vysoké. Polotovar pro těleso měl tvar obdélníku, který měl být následně upraven do požadovaného tvaru. Odpadní materiál by však tvořil přibližně 75 % z celkové váhy polotovaru. Tato varianta by byla velmi finančně náročná a po finální úvaze a debatě s technologií jsem od tohoto návrhu ustoupil. Prvotní návrh tělesa je zobrazen na obrázku 2.5.



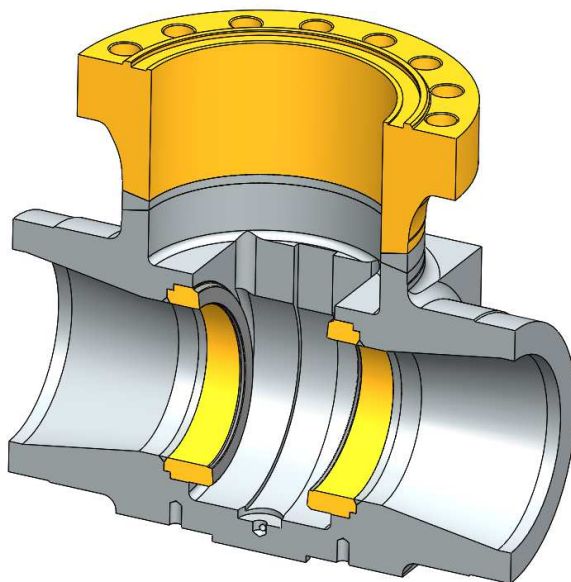
Obrázek 2.5 – Prvotní návrh tělesa klínového šoupátka

Druhý návrh jsem vytvořil ze dvou částí, tělesa a příruby, které byly k sobě svařeny. Těleso je plnopřůtočný element s přivařovacími konci, ty se následně upravují dle rozměrů potrubí. Víkovou (horní) část tělesa jsem opatřil přírubou, sloužící pro upevnění víka. Víko je s tělesem spojeno závrtnými šrouby a maticemi. Ve víku se nachází ucpávka a vedení vřetena.

Do příruby tělesa jsem navrhl 16 otvorů se závitem M45 x 3 do hloubky 60 mm. Příruba tělesa je z technologických důvodů k samotnému tělesu přivařena U-svarem a následně v sestavě s tělesem opracovaná.

V sedlové partii se nachází pravé a levé sedlo. Tyto sedla mají vyraženou značku pro lepší orientaci. Před samotným zavařením sedel do tělesa je zapotřebí vhodně upravit sedlovou partii. Sedla se před zavařením opravují, na jejich těsnicí povrch je nanesena vrstva bezkobaltové slitiny (C1111) a poté jsou sedla podrobena žíhání. Sedlové plochy v tělesu jsou obtížně přístupné a jejich opracování nebo úprava jsou komplikované. Z tohoto důvodu je složitější dosáhnout požadované těsnosti.

Následně došlo k ultrazvukové kontrole nanesené vrstvy, která se provádí na 100 % těsnicí plochy, výsledek zkoušky musí být bez vad. Ve spodní části tělesa jsem vytvořil otvory pro upevnění patek, které slouží ke stabilnímu umístění armatury na pevný vyrovnaný podklad. Finální návrh tělesa je zobrazen na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6 – Finální návrh tělesa klínového šoupátka

2.5 Vřeteno klínového šoupátka

Při navrhování vřetena jsem nejdříve vycházel z návrhu vřetena šoupátka pro plynárenský průmysl. Můj návrh byl také vytvořen ze dvou částí, a to kvůli poměrně velkým rozdílům v průřezích vřetena. V případě sériové výroby zajišťuje vřeteno zhotovené ze dvou dílců snížení nákladů na obrábění a polotovar. Obě části k sobě byly přivařeny svarem. Z technologických důvodů kladených na svařování, následné zkoušky svaru a opracování jsme s technologem shledali tuto variantu za méně vhodnou.

Mým druhým návrhem bylo vřeteno, vyrobené z kované tyče kruhového průměru, jehož materiálové označení je 14CH17N2 (viz obrázek 2.7). Vřeteno jsem navrhl jako celistvou součást upravenou obráběním. Jedná se o martenzitovou ocel vyráběnou dle GOST 5632 (platnost od r. 1972). Tento materiál jsem zvolil pro jeho chemické i fyzikální vlastnosti. Používá se v primárním okruhu jaderných elektráren a vyžaduje účelné řízení chemického složení materiálu.



Obrázek 2.7 – Vřeteno klínového šoupátka

Pohyb vřetena zajišťuje závitová část, na které dochází k silovému přenosu z pohonu na těsnící prvek (klín). Vřeteno se při tomto silovém pohybu neotáčí, pouze stoupá a klesá. Rotační pohyb vykonává převlečná matice, která je součástí nástavce víka. Vřeteno jsem osadil dvojčinným levým lichoběžníkovým závitem TR52x8-LH 8e, pevnostní výpočet daného závitu se nachází v kapitole 4.6.

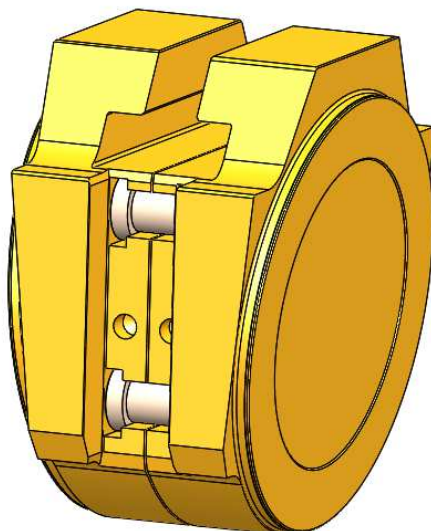
Před samotným opracováním je polotovar žíhán na teplotu 500 až 550 °C pro odstranění vnitřního pnutí. Dále následuje kontrola ultrazvukem na 100 % povrchu obrobku. Následně je provedena zkouška chemického složení steeloskopem. V okamžiku, kdy jsou všechny kontrolní podmínky splněny, lze přejít k obrábění polotovaru.

Spodní část vřetena jsem osadil tzv. dříkem. Tento prvek slouží k pevnému uchycení klínu a silovému přenosu. Jeho povrch je chromován vrstvou 0,07 mm a následně dochází k přebroušení povrchu. Povrch je kontrolován na tvrdost, která musí být min. 900 HRV.

Vedení vřetena je zajištěno pomocí grafitových pouzder, které jsem umístil ve víku. Pomocí ucpávky jsou vtlačeny na požadovaný tlak. Vřeteno se v těchto pouzdrech pohybuje, aniž by mohlo docházet k únikům média do atmosféry. Pro tento účel má vřeteno povrchovou úpravu, při které drsnost povrchu nesmí přesáhnout RA 0,2.

2.6 Klín klínového šoupátka

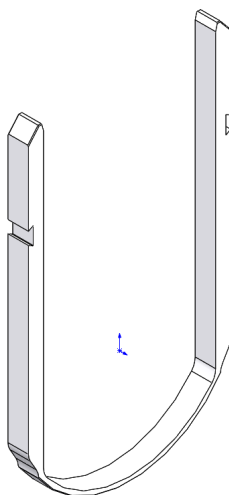
Klín jsem vytvořil se dvěma deskami spojenými talířovými pružinami, desky klínu jsou fixovány pomocí zděří. Těsnící plochy klínu a vodící plochy klínu jsou opatřeny návarem bezkobaltové slitiny C1111. Rozsah tvrdosti je 50 až 55 HRC. Klín je znázorněn na obrázku 2.8.



Obrázek 2.8. – Klín

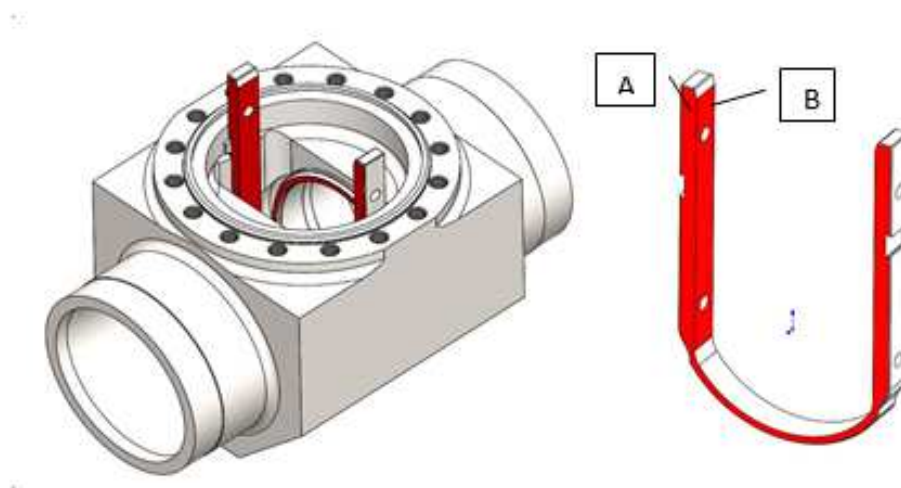
2.7 Vedení klínu v klínovém šoupátku

Při prvním návrhu vedení klínu jsem vycházel z varianty ohnutého vedení klínu zhotoveného z jedné části (viz 2.9). Plánoval jsem tak ušetřit výrobní náklady na opracování a svařování. Tato varianta se zdála být po teoretické stránce přesnější i spolehlivější. U praktických zkoušek však docházelo k výchylkám konců, a to i když bylo vedení přichyceno k tělesu klínového šoupátka.



Obrázek 2.9 – Prvotní návrh vedení klínu klínového šoupátka

Druhou variantu jsem navrhl jako vedení klínu svařené ze tří částí, tvořené dvěma paralelními lištami, které jsou ve spodní části spojeny obloukem. Vodící části vedení jsou opatřeny vrstvou bezkobalové slitiny (C1111). Vnitřní část vedení je opatřena vrstvou chromu o tloušťce 0,07 mm a následně je jeho povrch přebroušen. Na obrázku 2.10 je znázorněno umístění vedení klínu v tělesu klínového šoupátka, vodící plochy jsou označeny jako "A" – boční vodící plochy a "B" – čelní vodící plochy. Na těchto plochách dochází k tření klínu při pohybu nahoru a dolů.



Obrázek 2.10 – Vedení klínu klínového šoupátka

3 OVĚŘOVACÍ LABORATORNÍ ZKOUŠKY

Po vypracování návrhu klínového šoupátka a jeho následné výrobě byly provedeny laboratorní zkoušky. Při zkouškách měla být ověřena jeho tlakotěsnost a funkčnost. Zkoušky probíhaly v certifikované laboratoři, která je speciálně vytvořena pro tento typ zkoušek. Na obrázku 3.1 je zdokumentován proces zkoušení. Šoupátko při něm bylo vybaveno elektropohonem s distančním ovládáním. K šoupátku byly přivařeny příruby, na kterých byly instalovány zaslepovací protipříruby vybavené hrdly, pro připojení šoupátka na tlakový systém zkušebny (viz obrátek 3.2). Ten simuloval pracovní proces v šoupátku, s tím rozdílem, že v něm neproudila zkušební kapalina. Hrdla na přírubách musely být vyrobeny dle předem dané specifikace zkušebny, a to kvůli připojení na centrální tlakový oběh. V požadavcích zkušebny bylo taktéž předem dáno, aby bylo nerezové šoupátko bez povrchového nátěru.

Důraz byl také kladen na přesné časové dodržení postupu zkoušek. Odchyly od předem stanoveného harmonogramu nebyly přípustné, jelikož se zkušebna pronajímá více společností.



Obrázek 3.1 – Tlaková zkouška klínového šoupátka



Obrázek 3.2 – Zaslepovací příruba přizpůsobená pro zkoušky

3.1 Laboratorní zkoušky provedené na klínovém šoupátku

Nejdříve došlo ke zkoušení klínového šoupátka při nízkých teplotách, plán zkoušek je popsán v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 – Zkoušky studeným médiem (vodou) při teplotě 20 °C

Typ zkoušky	Tlak	Výdrž	Výsledek
Ověření pevnosti vzduchem	18 MPa	20 min	vyhovující
Ověření těsnosti armatury vzduchem	9 MPa – tlak zprava	5 min	vyhovující
	9 MPa – tlak zleva	5 min	vyhovující
Ověření pevnosti vodou	20 MPa	10 min	vyhovující
Ověření těsnosti armatury vzduchem	20 MPa – tlak zprava	15 min	vyhovující
	20 MPa – tlak zleva	15 min	vyhovující
Kontrola času přemístění z polohy otevřeno do polohy zavřeno	20 MPa – tlak směřoval z pravé strany	34 sekund	Po uzavření nulový tlak na levé straně. vyhovující

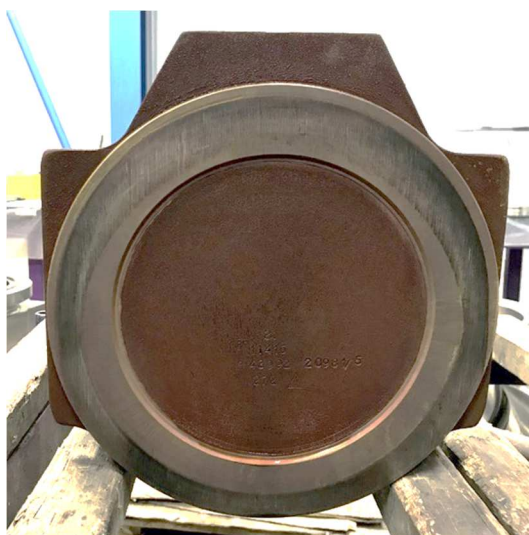
Následovalo zkoušení šoupátka horkou vodou, která dosahovala teploty 300 °C při tlaku 18 MPa. Armatura měla obstát v rozsahu 125 cyklů, přičemž jeden cyklus probíhal takto: ve výchozí poloze je armatura uzavřená – klín je spuštěn dolů, následuje vyzvednutí klínu do otevřené polohy a spuštění do výchozí polohy. Doba jednoho cyklu byla stanovena na 5,5 minut. Po absolvování 125 cyklů byly provedeny těsnostní zkoušky vzduchem, při kterých byly zjištěny úniky přes těsnicí prvek (klín) o hodnotě 11 472 cm³/min. Dále byl zjištěn problém v plynulosti chodu při otevření armatury.

Následovala zkouška těsnosti vodou, při které se zjistil únik přes těsnicí prvek (klín) o hodnotě $6,6 \text{ cm}^3/\text{min}$. Chod byl plynulý.

Vzhledem k nevyhovujícím výsledkům zkoušek byla provedena defektace hlavních součástí. V následující podkapitole budou popsány možné příčiny netěsností, z jakého důvodu došlo k netěsnostem a možnosti jejich náprav.

3.2 Defragmentace součástí

Šoupátko bylo po zkouškách demontováno a následnou kontrolou byly zjištěny příčiny netěsností. Armatura byla zatěžována 250 cykly. Na těsnících plochách obou desek jsou viditelné jemné rýhy jak v horní, tak ve spodní částí. Na obrázku 3.3 jsou patrné stopy kontaktu desky klínu se sedly.



Obrázek 3.3 – Otlak sedel na těsnící ploše klínu

Na obrázku 3.4 jsou viditelné vnitřní plochy obou stran klínu vykazující známky opotřebení, konkrétně záděry, které odpovídají zvýšenému tření mezi klínem a vedením v tělesu. Na jedné straně jsou viditelné záděry po celé ploše jedné desky. Zděře nejsou poškozené.



Obrázek 3.4 – Otlak na vodících plochách klínu

Druhá strana desky klínu vykovala stopy záděří na zděřích. Zděře jsem navrhl jako válečky držící dvě desky klínu ve stále poloze. Na obrázku 3.5 jsou vidět záděři na zděři. Plocha desky klínu není poškozená (viz obrázek 3.6).



Obrázek 3.5 – Funkčními zkouškami způsobené záděři na zděři



Obrázek 3.6 – Zděř umístěna mezi deskami klínu

Na těsnících plochách obou sedel lze vidět, že kontakt s těsnícími plochami desek klínu nebyl 100 %. Poměr pracovní (lesklá část) a nepracovní části (matná) je patrný na obrázku 3.7. Dané otlaky mohly být způsobeny vychýlením klínu při zkouškách za působení jednostranného tlaku na klín.

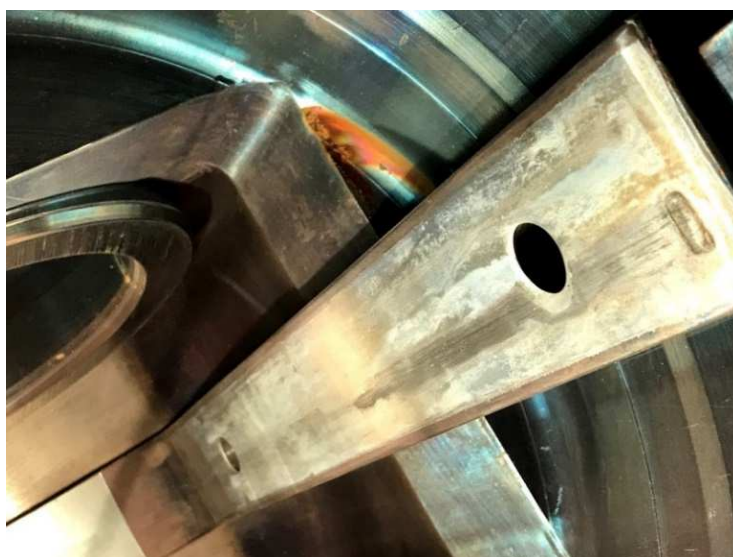


Obrázek 3.7 – Těsnící plochy sedel

Vzhledem k záděrům na zděřích jsem provedl konstrukční úpravu klínu tak, aby se zamezilo volnému pohybu zděří a tím možnému vzniku záděrů. Proti budoucímu zadírání na bocích desek klínu bylo zapotřebí navařit dané plochy tvrdonávarem CN6.

Pro dodržení těsnosti, správné funkce sedel a předcházení jejich podřetí, byla provedena změna technologie vkládání sedel. Následně proběhla důsledná kontrola rovinnosti sedel a kontrola symetrie vložených sedel vůči ose víkové příruby. Tyto úpravy a konstrukční změna rozměru sedel vedly k volnému vložení sedel do tělesa a následnému zavaření. Sedla jsou výpočtově ověřena v kapitole 4.7.

Vnitřní plochy vedení vykazují při defragmentaci opotřebení. Byly na nich objeveny záděry na vedení klínu, způsobené třením zděří umístěných v klínu (viz obrázek 3.8 a 3.9).



Obrázek 3.8 – Vedení klínu



Obrázek 3.9 – Vedení klínu se záděry

Bylo potřeba vyrobit nové vedení klínu a zkontrolovat jeho tvrdost, dodatečně zkontrolovat šířku vedení a správné umístění v prostoru tělesa. Právě umístění a následné zavaření se jevilo jako možná příčina vychýlení klínu při jeho funkčním pohybu v kombinaci s jednostranným zkušebním tlakem, který klín přetlačuje a tím je namáhána jedna strana vedení.

Při zkouškách se objevily konstrukční nedostatky, na které se dále reagovalo změnou jednotlivých rozměrů komponentů. Zkoušky se dále opakovaly po jednotlivých úpravách šoupátka až došlo k vyhovujícímu výsledku.

Je nutno podotknout, že při atestačních zkouškách je šoupátko mnohém více namáháno než při běžném provozu, a to jak teplotně, tak tlakově. Jde o důsledek předimenzování, jelikož se jedná o jadernou energetiku, provozní armatury musí podléhat nejvyšší bezpečnosti.

4 VÝPOČTOVÁ ČÁST KLÍNOVÉHO ŠOUPÁTKA

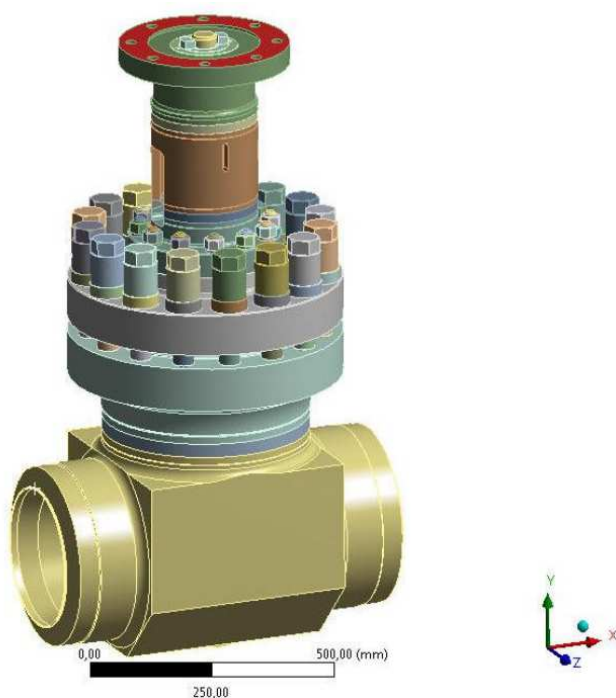
4.1 Obecné ustanovení

Šoupátko jsem konstruoval v souladu s bezpečnostní třídou 2 dle Obecních podmínek zabezpečení bezpečností jaderných elektráren (ПНАЭ Г-01-011), dále v souladu s podskupinou V dle Pravidel pro zařízení a bezpečný provoz jaderných elektráren (ПНАЭ Г-7-008), a dále 1 kategorie seismické odolnosti podle Návrhové normy pro seizmické jaderné elektrárny (НП-031).

Obecný vzhled mnou konstruovaného šoupátka A00_DN300_PN250_Pp18 je zobrazen na obrázku 4.1. Kontrolní výpočty jsou určeny pro klínové šoupátko s pracovními parametry dle tabulky 4.1.

Tabulka 4.1 – Pracovní parametry klínového šoupátka

Označení šoupátka	Materiál hlavních dílců	Výpočtový tlak, P, MPa	Tlak při provedení tlakových (hydraulických) zkoušek, P _h , MPa	Výpočtová teplota, t, °C
A00_DN300_PN250_Pp18	nerezová ocel 08X18H10T	18,0	29,5	300



Obrázek 4.1 – Obecný vzhled klínového šoupátka A00_DN300_PN250_Pp18

K provedení pevnostních zkoušek jsem použil výpočtový program Ansys. Materiály a konstrukční rozměry klínového šoupátka jsem zvolil v souladu s technickou dokumentací (viz tabulka 4.2). Výpočty jsem provedl podle maximálních hodnot pracovních parametrů. Ve výpočtové zprávě jsem zkontroloval určité napětí v nebezpečných částech hlavních konstrukčních dílců za provozních podmínek a realizoval výpočtovou kontrolu dle Výpočtové pevnostní normy konstrukčních uzlů jaderných elektráren (dále ПНАЭ Г-7-002).

Tabulka 4.2 – Mechanické vlastnosti materiálu dílců

Popis	Značka	Jednotka	Parametry			
Materiál	-	-	08X18H10T	15 320	12 020	42 3145
Součást	-	-	těleso, víko	šroub	matice	pouzdro
Mez kluzu	$R_{p0,2}^T$	MPa	157	392	130	170
	$R_{p0,2}^h$	MPa	205	588	225	-
Provozní odpor	R_m^T	MPa	333	640	300	450
	R_m^h	MPa	480	700	390	-

4.2 Výpočet tlakových hydraulických zkoušek

Úkolem výpočtu je stanovení dolní tlakové meze hydraulických zkoušek P_h^* . Nominální dovolené napětí je stanoveno vztahem:

$$\sigma = \left(\frac{R_{p0,2}}{1,5}; \frac{R_m}{2,6} \right) \quad (4.2.1)$$

Z daného vztahu bereme v úvahu výsledek minimální hodnoty. V tomto případě je mez kluzu ($R_{p0,2}$) a provozní odpor (R_m) materiálu tělesa, víka a trubky odvodnění při výpočtové teplotě média. Při výpočtu nominálního dovoleného napětí je dále počítáno s minimální hodnotou, která je vnesena do tabulky 4.3. Značka dovoleného napětí označená indexem "T" symbolizuje pracovní podmínky, zatímco index "h" symbolizuje zkušební podmínky.

Výpočet zkušebních tlaků dle následujícího vztahu, kde je počítáno s koeficientem bezpečnosti pro armatury (k) a výpočtovým tlakem (P):

$$P_h^* \geq k \cdot P \cdot \frac{\sigma_h}{\sigma_T}$$

$$P_h^* \geq 1,25 \cdot 18 \cdot \frac{136,7}{104,7} = 29,377 \text{ MPa} \quad (4.2.2)$$

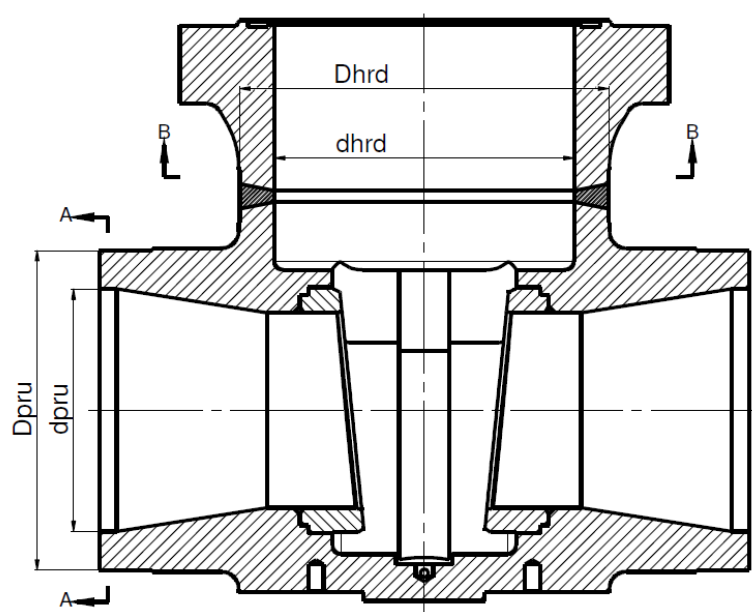
Pro další výpočty bude udávána hodnota $P_h = 29,2 \text{ MPa}$, dle technické normy ПНАЭ Г-7-002.

Tabulka 4.3 – Výpočetní hodnoty tlakových hydraulických zkoušek

Popis	Značka	Jednotka	Parametry
Výpočtový tlak	P	MPa	18
Výpočtová teplota	T	°C	300
Zkušební teplota	t_h	°C	20
Materiál tělesa	-	-	08X18H10T
Mez kluzu	$R_{p0,2}^T$	MPa	157
	$R_{p0,2}^h$	MPa	205
Provozní odpor	R_m^T	MPa	333
	R_m^h	MPa	480
Dovolené napětí	σ_T	MPa	104,7
	σ_h	MPa	136,7
Minimální tlak hydraulických zkoušek	P_h^*	MPa	29,377
Udávaný tlak hydraulických zkoušek	P_h	MPa	29,2

4.3 Kontrolní výpočet hlavních rozměrů tělesa

Úkolem kontrolního výpočtu je určit minimální tloušťky stěn jednotlivých částí tělesa. Před samotnou kontrolou jsem nejdříve musel určit tloušťku, vnější a vnitřní rozměry stěn. Těleso se skládá ze dvou částí, které jsou spojeny svařem. Z tohoto důvodu jsem počítal se sníženou pevností v oblasti svaru. Podle materiálu svaru se volí koeficient φ . Podstatným koeficientem je korozní přírůstek kontrakčních prvků počítaný pro provozní dobu 60 let. [18] Kontrolované stěny tělesa šoupátka jsou vyznačeny na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 – Těleso klínového šoupátka s vyznačeným průřezem stěn

Tabulka 4.4 – Výpočetní hodnoty kontroly tloušťky stěn tělesa

Popis	Jednotka	Parametry	
Průřez	-	A-A	B-B
Základní materiál	-	08X18H10T	
Vnější průměr	mm	369	426
Vnitřní průměr	mm	283,34	346
Tloušťka stěny, S	mm	42,83	40
Korozní přídavek, c ₂	mm	0,25	
φ	-	1	
m ₁	-	2	
m ₂	-	1	
m ₃	-	1	

4.3.1 Výpočet minimální tloušťky stěny v řezu A-A

$$S_{Ra} = \frac{P_p \cdot d_{pru} \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot \sigma_T - P_p} \cdot \frac{1}{m_1}$$

$$S_{Ra} = \frac{18 \cdot 283,34 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 104,7 - 18 \cdot 1} \cdot \frac{1}{1}$$

$$S_{Ra} = 26,646 \text{ mm}$$

(4.3.1)

K minimální výpočtové tloušťce je zapotřebí přičíst korozní přídavek:

$$S_{Ra} + c_2 = 26,646 + 0,25 = 26,896 \text{ mm}$$

(4.3.2)

Kontrola ověřuje správnost volené tloušťky stěny v průřezů A-A:

$$S_a \geq S_{Ra} + c_2$$

$$42,83 \geq 26,896$$

(4.3.3)

podmínka splněna.

4.3.2 Výpočet minimální tloušťky stěny v řezu B-B

$$\begin{aligned} S_{Rb} &= \frac{P \cdot d_{hrd} \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot \sigma_T - P} \cdot \frac{1}{m_1} \\ S_{Rb} &= \frac{18 \cdot 346 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 104,7 - 18 \cdot 1} \cdot \frac{1}{1} \\ S_{Rb} &= 32,539 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.3.4)$$

K minimální výpočtové tloušťce je zapotřebí přičíst korozní přídavek:

$$S_{Rb} + c_2 = 32,539 + 0,25 = 32,789 \text{ mm} \quad (4.3.5)$$

Kontrola ověřuje správnost volené tloušťky stěny v průřezu B-B:

$$\begin{aligned} S_b &\geq S_{Rb} + c_2 \\ 40 &\geq 32,789 \end{aligned} \quad (4.3.6)$$

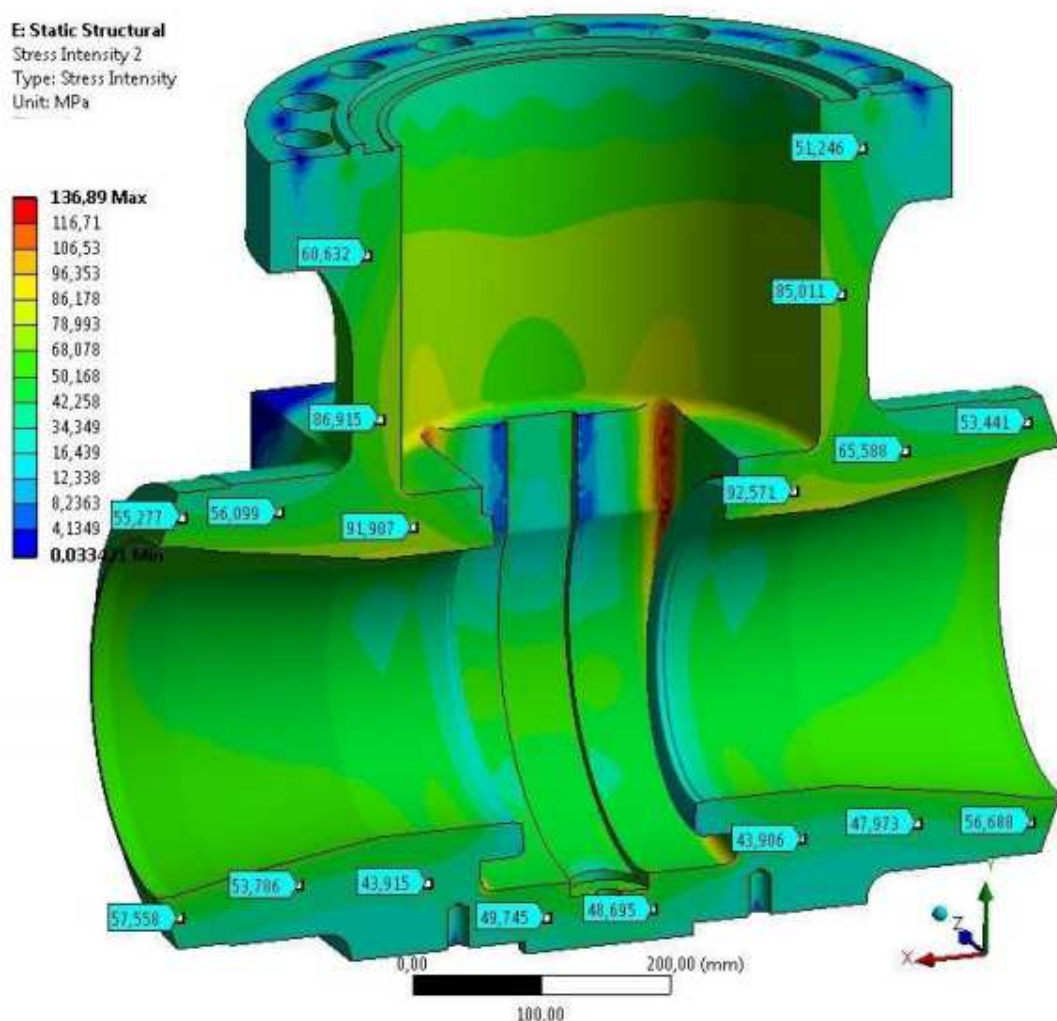
podmínka splněna.

4.4 Pevnostní výpočet tělesa metodou konečných prvků

Úkolem daného výpočtu je provedení pevnostní analýzy průtokových částí a stanovení redukovaného napětí pomocí stanovení obecného membránového napětí, ohybového napětí a napětí ovlivněných teplotou. K výpočtu používám metodu konečných prvků pomocí softwarového balíčku Ansys. Tlak a teplota média jsou stanoveny pro daný výpočet dle normy НП-068.

4.4.1 Simulace napětí při provozních podmínkách

Těleso je zatíženo výpočtovým tlakem 18 MPa.

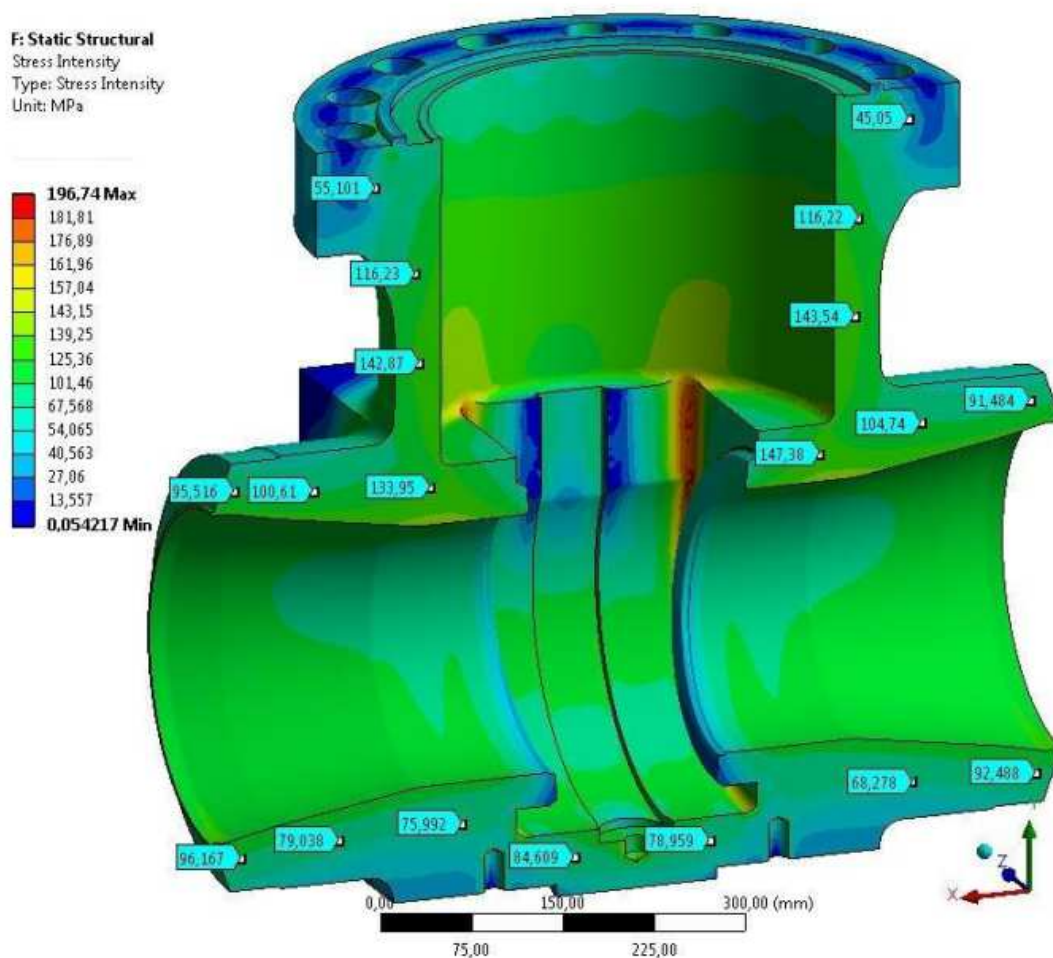


Obrázek 4.3 – Napětí v tělesu působením provozního tlaku

Z modelu na obrázku 4.3 je patrné, že v průtokové části má těleso maximální redukované napětí 57,558 MPa. Dovolené membránové namáhání pro materiál tělesa 08X18H10T je stanoveno hodnotou 104,67 MPa. Z toho vyplývá splnění pevnostních podmínek, těleso je vyhovující. Maximální redukované napětí v modelu na obrázku 4.3 je pouze povrchové a nemá vliv na funkčnost.

4.4.2 Simulace napětí při zkušebních podmínkách

Těleso je zatíženo zkušebním tlakem kapaliny tlakem 29,5 MPa.



Obrázek 4.4 – Napětí v tělesu působením zkušebního tlaku

Z modelu na obrázku 4.4 je patrné, že v průtokové části má těleso maximální redukované napětí 96,167 MPa. Stejně jako na modelu v bodě 4.4.1 je dovolené membránové namáhání zkušebním tlakem pro materiál tělesa 08X18H10T, stanoveno hodnotou 1136,7MPa, avšak v tomto případě je zapotřebí přičíst bezpečnostní koeficient.

$$\begin{aligned}\sigma_{dov.t} &= 1,35 \cdot \sigma_h \\ \sigma_{dov.t} &= 1,35 \cdot 136,7 \\ \sigma_{dov.t} &= 184,545 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{4.4.1}$$

Z výše uvedeného vyplývá splnění pevnostních podmínek, těleso je vyhovující. Maximální redukované napětí v modelu na obrázku 4.4 je pouze povrchové a nemá vliv na funkčnost.

4.5 Kontrolní výpočet vřetena

Kontrolním výpočtem jsem ověřil správnost výroby vřetena. Do výpočtu jsem vnesl napětí mezi vřetenem a dorazem σ_k , napětí v tlaku v nejmenším průřezu vřetena σ_{tl} , napětí v tlaku při výpočtu vřetena na pevnost $\sigma_{tl.p}$. Jmenovité dovolené napětí jsem převzal z výpočtové normy ПНАЭ Г-7-002. Výchozí hodnoty pro výpočet jsou rozepsány v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5 – Výpočetní hodnoty kontroly tloušťky stěn tělesa

Popis	Značka	Jednotka	Parametry
Materiál vřetena	-	-	14X17H2
Teplota vřetena v minimálním průřezu vřetena	t_v	°C	250
Mez kluzu vřetena	$R_{p0,2.v}$	MPa	477,9
Provozní odpor vřetena	R_m^v	MPa	638
Materiál dorazu vřetena	-	-	08X18H10T
Mez kluzu dorazu	$R_{p0,2.d}$	MPa	137
Síla působící na vřeteno	Q_{OM}	N	260 681,9
Minimální průměr vřetena	$d_{vř}$	mm	42,5
Maximální krouticí moment pohonu	M_{poh}	N.mm	1 850 000
Jmenovité dovolené napětí vřetena	$\sigma_{vř}$	MPa	245,387

4.5.1 Pevnostní kontrola vřetena v minimálním průřezu

Výpočet minimálního průřezu vřetena:

$$\begin{aligned}
 S_{vř} &= \frac{\pi}{4} \cdot d_{vř}^2 \\
 S_{vř} &= \frac{\pi}{4} \cdot 42,5^2 \\
 S_{vř} &= 1\,418,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.5.1}$$

Výpočet tlakového napětí v minimálním průřezu vřetena:

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{Q_{OM}}{S_{vř}} \\
 \sigma_c &= \frac{260681,9}{1418,63} \\
 \sigma_c &= 183,756 \text{ MPa}
 \end{aligned}
 \tag{4.5.2}$$

Výpočet odporového momentu v krutu, v minimálním průřezu vřetena:

$$\begin{aligned}W_k &= \frac{\pi}{16} \cdot d_{vř}^3 \\W_k &= \frac{\pi}{16} \cdot 42,5^3 \\W_k &= 15\,072,895\,mm^3\end{aligned}\tag{4.5.3}$$

Výpočet krutu v minimálním průřezu vřetena:

$$\begin{aligned}\tau_v &= \frac{M_{poh}}{W_k} \\ \tau_v &= \frac{1850000}{15072,895} \\ \tau_v &= 122,737\,MPa\end{aligned}\tag{4.5.4}$$

Výpočet redukovaného napětí v minimálním průřezu vřetena:

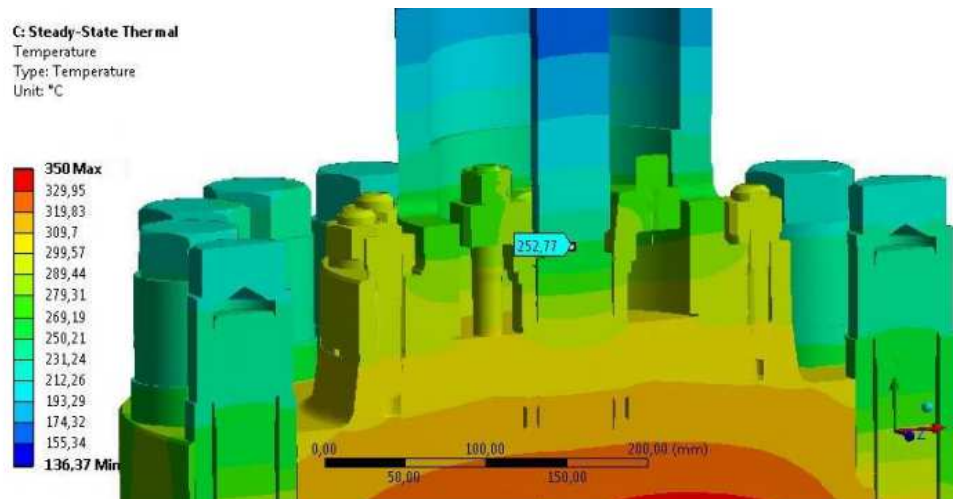
$$\begin{aligned}\sigma_{red.v} &= \sqrt{\sigma_c^2 + 4 \cdot \tau_v^2} \\ \sigma_{red.v} &= \sqrt{183,756^2 + 4 \cdot 122,737^2} \\ \sigma_{red.v} &= 306,633\,MPa\end{aligned}\tag{4.5.5}$$

Výpočet dovoleného napětí při krutu:

$$\begin{aligned}\sigma_{dov} &= 1,3 \cdot \sigma \\ \sigma_{dov} &= 1,3 \cdot 245,387 \\ \sigma_{dov} &= 319\,MPa\end{aligned}\tag{4.5.6}$$

Výpočet koeficientu bezpečnosti vřetena:

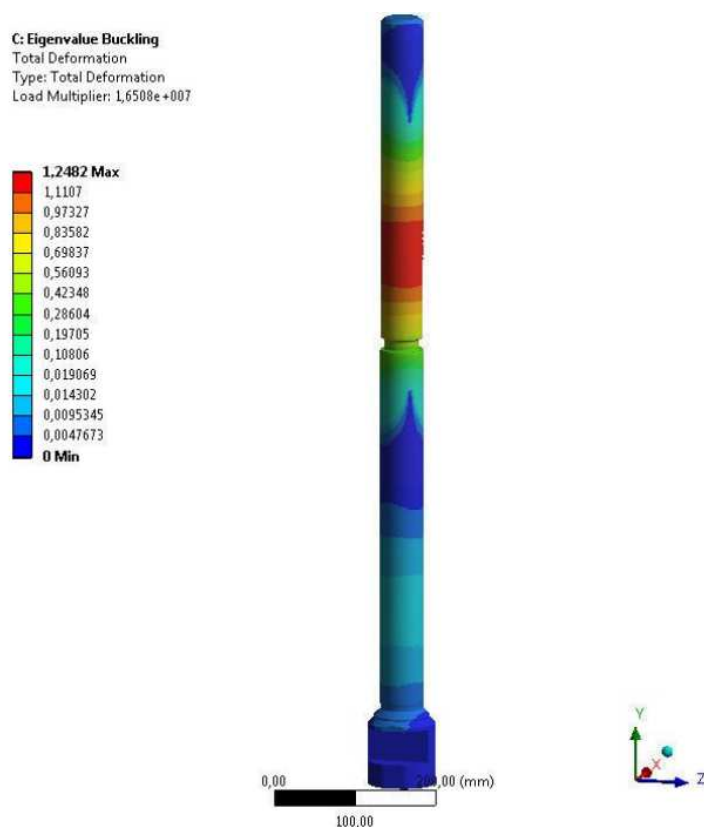
$$\begin{aligned}n &= \frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{red.v}} \\ n &= \frac{319}{306,633} \\ n &= 1,04\end{aligned}\tag{4.5.7}$$



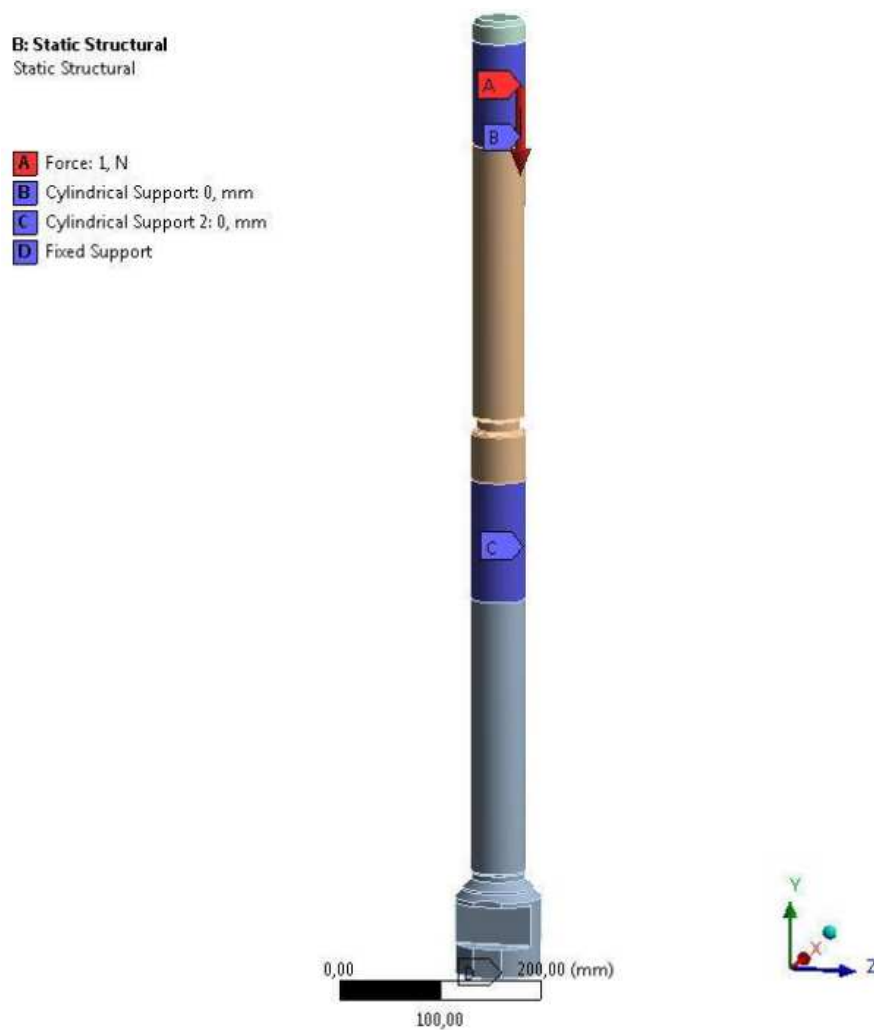
Obrázek 4.5 – Teplota vřetena v minimálním průřezu vřetena

4.5.2 Osově napětí ve vřetenu

Vřeteno, jehož délka je mnohem větší než jeho průřez, je v těchto případech počítáno na namáhání tlakem v ose vřetena. Při tomto působení tlaku může dojít k ohnutí vřetena. Zakřivení nastává v rovině nejmenší tuhosti prutu. Deformace, ke které dochází při stlačení vřetena, je doprovázena zakřivením podélné osy vřetena, jedná se o vzpěr. Zátěž, při které tyč ztrácí stabilitu, se nazývá kritická síla. Silové zatížení vřetena je znázorněno na obrázku 4.6. Účelem výpočtu je stanovení kritické síly, která vede k zborcení vřetena.



Obrázek 4.6 – Silové zatížení vřetena



Obrázek 4.7 – Působení vzpěru na vřeteno

Kontrola vřetena na vzpěr je znázorněna na obrázku 4.7. Tímto jsem stanovil maximální silové zatížení na hodnotu 1 650 800 N. Síla působící na vřeteno má hodnotu 260 261,9 N. Musí dojít k dodržení následujících podmínek:

$$Q_{MAX} \geq Q_{OM}$$

$$1\,650\,800 \geq 260\,261,9$$

(4.5.8)

podmínka splněna.

4.6 Výpočet lichoběžníkového závitu

Pro dané vřeteno používám dvojčinný lichoběžníkový profil závitu s levým směrem otáčení TR52x8-LH 8e, a to pro jeho nosnost. Zatížení není kolmé k profilu zubů, nýbrž je skloněno pod úhlem α , což vede ke zvýšení třecí síly.

Tabulka 4.6 – Výpočetní hodnoty lichoběžníkového závitu

Popis	Značka	Jednotka	Parametry
Vnější průměr závitu	d_T	mm	52
Vnitřní průměr závitu	d_1	mm	44
Rozpeč závitů	t_T	mm	16
Stupeň chodu závitu	z	-	2
Síla působící na vřeteno	Q_{OM}	N	260 681,9
Materiál vřetena	-	-	14X17H2
Materiál převlečné matice	-	-	42 3145
Mez kluzu vřetena	$\sigma_{p0,2}^b$	MPa	430
Mez kluzu převlečné matice	$\sigma_{p0,2}^r$	MPa	170
Výpočtová délka závitu	h	Mm	102
Koeficient bezpečnosti závitu	K_1	-	0,65
Koeficient deformace závitu	K_m	-	0,55

Výpočet smykového napětí v závitech:

$$\begin{aligned}\sigma_{smyk} &= 0,91 \cdot \frac{Q_{OM}}{h \cdot z \cdot (D - 0,5 \cdot t)} \\ \sigma_{smyk} &= 0,91 \cdot \frac{260681,9}{102 \cdot 2 \cdot (52 - 0,5 \cdot 8)} \\ \sigma_{smyk} &= 24,226 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (4.6.1)$$

Výpočet smykového napětí v závitě:

$$\begin{aligned}\tau_{cp} &= \frac{Q_{OM}}{\pi \cdot d_1 \cdot h \cdot z \cdot K_1 \cdot K_m} \\ \tau_{cp} &= \frac{260681,9}{\pi \cdot 44 \cdot 102 \cdot 2 \cdot 0,65 \cdot 0,55} \\ \tau_{cp} &= 25,858 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (4.6.2)$$

Výpočet dovoleného smykového napětí v závitě vřetena:

$$\begin{aligned}\tau_{cp}^b &= \frac{\sigma_{p0,2}^b}{4} \\ \tau_{cp}^b &= \frac{430}{4} \\ \tau_{cp.v}^b &= 107,5 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{4.6.3}$$

$$\begin{aligned}\tau_{cp}^b &\geq \tau_{cp} \\ 107,5 &\geq 25,858\end{aligned}$$

podmínka splněna.

Výpočet dovoleného smykového napětí v závitě matice:

$$\begin{aligned}\tau_{cp}^r &= \frac{\sigma_{p0,2}^r}{4} \\ \tau_{cp}^b &= \frac{170}{4} \\ \tau_{cp.m}^b &= 42,5 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{4.6.4}$$

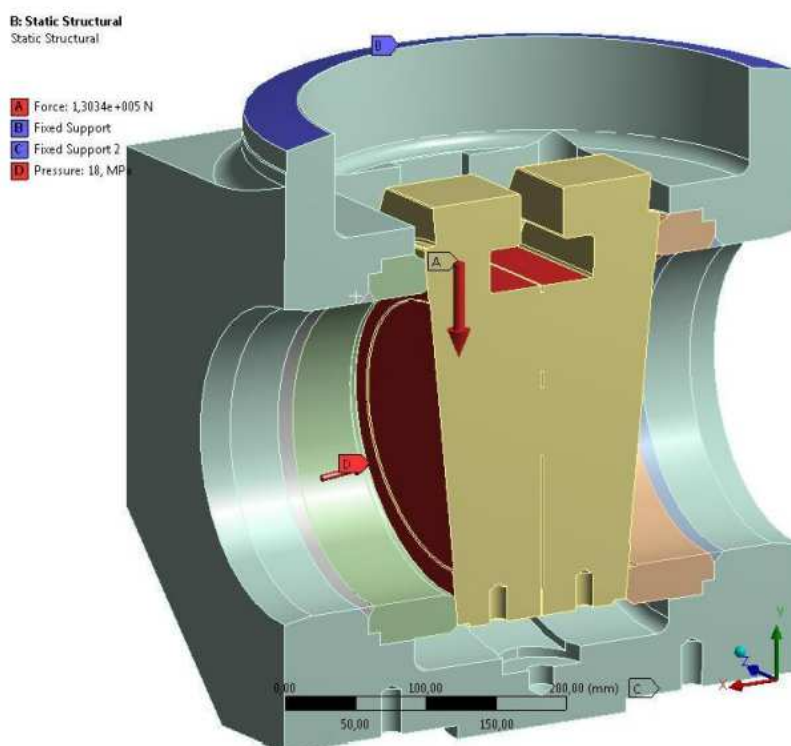
$$\begin{aligned}\tau_{cp}^r &\geq \tau_{cp} \\ 42,5 &\geq 25,858\end{aligned}$$

podmínka splněna.

4.7 Výpočet klínu a sedel

Výpočet je založen na metodě konečných prvků. Cílem výpočtu je stanovit maximální napětí na klín i sedla a srovnat je s dovoleným napětím. Průměrné smykové napětí by nemělo překročit hodnotu σ_{cm} , napětí na sedle je znázorněno na obrázku 4.9, napětí na klín je znázorněno na obrázku 4.10. Pokud se napětí vyskytne mimo výpočtovou zónu, je povoleno navýšení tohoto napětí na 25 %.

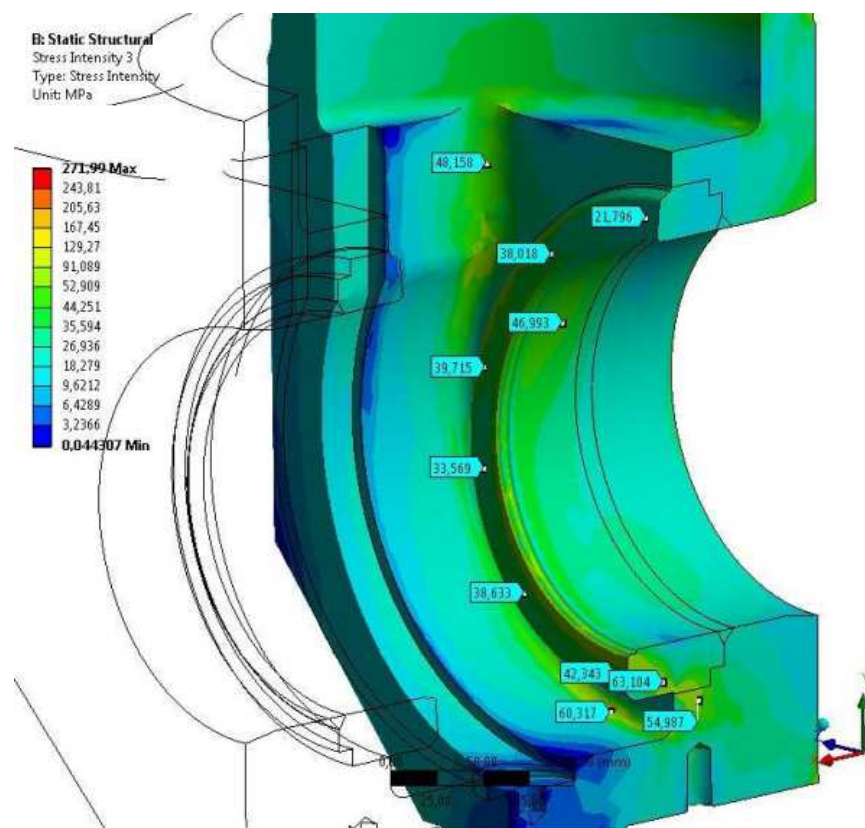
Na obrázku 4.8 je znázorněná poloviční zatěžující síla předávaná ze vřetena na jednu část klínu a tlak pracovního média působícího na klín ze strany průtoku armatury.



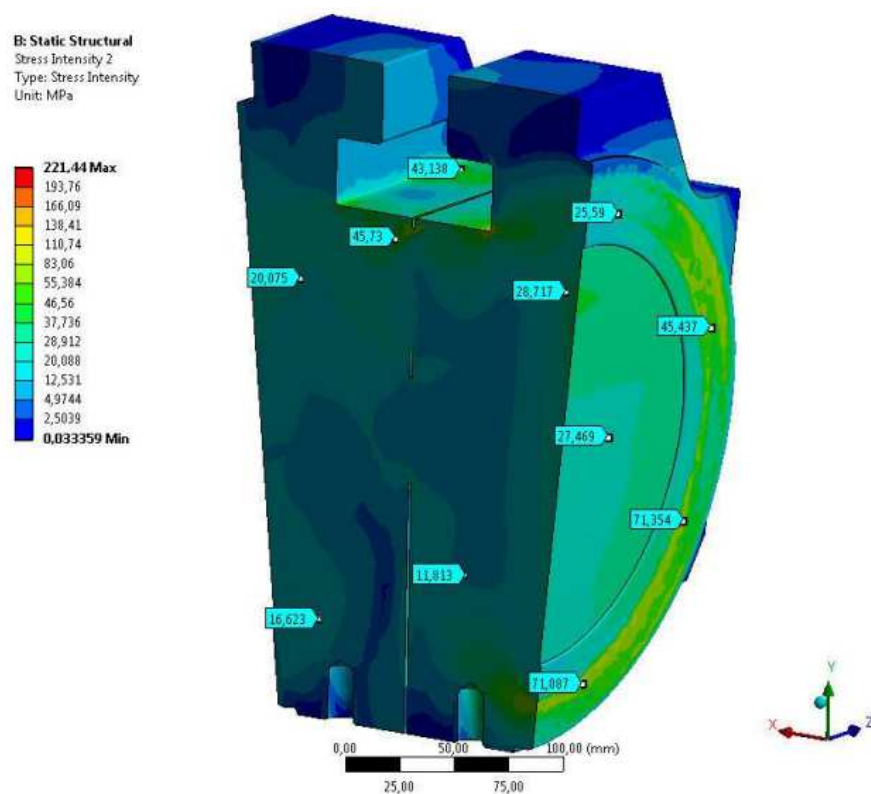
Obrázek 4.8 – Působení zatížení na sestavu klín-sedlo

V dané konstrukci je stanovení napěťových a tlakových polí na plochy sedel a klínu v uzavřené poloze vyřešen kombinací působení utahovacích sil a hydrostatického tlaku pracovní kapaliny. Konstrukční model se skládá ze sestavy sedel a klínu (přenos síly z vřetena na klín a poté kontaktu mezi klínem a sedly), vzájemně propojenými kontaktními podmínkami a vazbami.

Při stanovení statické pevnosti pomocí rozsahu napětí, by maximální a minimální hodnoty redukovaného napětí neměly překročit dočasné napětí R_m^t . Splnění podmínek na rozsah napětí není povinné v případech, kdy deformace tvaru konstrukce, ke které dochází v provozu při nesplnění výše uvedených požadavků, nemůže ovlivnit provoz armatury.



Obrázek 4.9 – Napětí v sedle



Obrázek 4.10 – Napětí v klínu

Z modelu na obrázku 4.9 a 4.10 je patrné, že v těsnicí části má sedlo i klín maximální redukované napětí 71,354 MPa, tato hodnota se nachází na klínu. Dovolené membránové namáhání pracovním médiem pro materiál 08X18H10T je stanoveno hodnotou 104,67 MPa, avšak v tomto případě jsem musel přičíst bezpečnostní koeficient n_2 z tabulky 4.7.

Tabulka 4.7 – Výpočetní hodnoty sedel a klínu

Popis	Značka	Jednotka	Parametry
Materiál sedel a klínu	-	-	08X18H10T
Mez kluzu	$R_{p0,2.k}$	MPa	157
Provozní odpor sedel a klínu	R_m^k	MPa	333
Dovolené napětí	σ_T	MPa	104,7
Střední průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"	D_{st}	mm	251,3
Velký průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"	D_{vl}	mm	272,5
Malý průměr těsnicí plochy "sedlo-klín"	D_{st}	mm	230
Pracovní tlak média na klín	Q_{med}	N	892 430,8
Protitlak těsnění	$Q_{tēs}$	N	247 207,1
Výpočtový kroutící moment	M_{kp}	N.m	1 677 115,1
Napětí v sedlech a klínu při zavřeném stavu			
Maximální napětí ve stěně klínu	$\sigma_{h.k}$	MPa	71,354
Koeficient bezpečnosti	n_2	-	2,9

Výpočet dovoleného napětí v ohybu, v těsnících plochách sedel a klínu:

$$\begin{aligned}\sigma_{dov.k} &= n_2 \cdot \sigma_{h.k} \\ \sigma_{dov.k} &= 2,9 \cdot 71,354 \\ \sigma_{dov.k} &= 206,927 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(4.7.1)

5 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vysokotlaké klínové šoupátko pro jadernou energetiku. Dílčím cílem bylo následně šoupátko atestovat ve zkušební laboratoři při provozním a zvýšeném zkušebním tlaku. Šoupátko bylo navrženo dle příslušných norem pro jadernou energetiku, s využitím atestovaných polotovarů, těsnících prvků a spojovacích materiálů.

V teoretické části diplomové práce došlo k seznámení s obecnou charakteristikou klínového šoupátka, parametry a požadavky na výrobu. Pro zákazníky při objednávkách armatur je důležitý tlakový a rozměrový rozsah, a to z důvodů použitelnosti. Daná práce se konkrétně zabývala konstruováním prototypu šoupátka s průtokovým rozměrem DN300 a tlakovou třídou PN 18 MPa. Pro správnou a spolehlivou životnost byly definovány požadavky na spolehlivost, které se odkazují na konstrukční provedení šoupátek a zvolený ovládací pohon. Tento parametr má vysoký vliv na dlouholetou provozuschopnost klínových šoupátek.

Konkretizace výrobních požadavků hrála při vývoji důležitou roli. Správně zvolené a přizpůsobené pracoviště je nedílnou součástí pro výrobu kvalitního produktu. Velký důraz byl kladen na kvalitu opracování a drsnost povrchů, přičemž v daném případě se muselo docílit nulových úniků mezi stoupajícím vřetenem a grafitovým pouzdem. Polotovary hlavních dílů byly definovány příslušnými normami a jejich chemické složení a mechanické vlastnosti musely být striktně dodrženy. Atestační listiny materiálu jsou dokládány s hotovým šoupátkem příslušným orgánům zkušební laboratoře k ověření. Konkrétní protokol zkoušek je předem dán a musel být striktně dodržen. Jakékoli odchýlení od plánu zkoušek bylo nepřipustné a mohlo vést k neschválení armatury pro budoucí použití.

Při řešení konstrukčního provedení klínového šoupátka bylo stěžejní záležitostí přesné zavaření sedel a vedení klínu tak, aby při zkouškách nedocházelo k tlakovému úniku. Při prvním zkoušení v laboratoři tato podmínka nebyla splněna. Byly objeveny vrypy na čelních a bočních stranách vedení klínu, třecí plochy na samotném klínu v oblastní styku s vedením a také vrypy na zděřích, které by neměly přijít do kontaktu s vedením klínu. Vlivem vysokých zkušebních tlaků a teplot docházelo k úniku média a následné netěsnosti v potrubí, k úniku do atmosféry nedošlo. Vliv na tom mělo především polohování sedel a klínu, při pozdějším měření jejich vzájemných poloh byly objeveny odchylky, které mohly zapříčinit daný únik. Došlo k úpravě tolerance a před samotnou montáží bylo provedeno komplexní měření vhodné polohy sedel a vedení klínu.

Výpočtová část diplomové práce se zabývala ověřováním finální varianty daného šoupátka. Celá tlaková obálka byla ověřena tlakovým výpočtem. Těleso bylo ověřeno na pevnost a výpočtově byla zjištěna minimální tloušťka stěny v klíčových místech, kterými jsou hrdlo a oblast přivařovacího konce. Po daném výpočtu bylo zjištěno, že je reálná zvolená tloušťka optimální a nemuselo docházet k jejímu navýšení.

Vřeteno se ověřovalo na minimální průřez a osově napětí vyvozené ze síly pro zvednutí klínu při tlaku. To vše bylo výpočtově kontrolováno při provozním tlaku a teplotě 300 °C. Závit vřetena byl výpočtově ověřen na dovolené smykové napětí. Na sestavě klínu a sedel bylo stanoveno redukované napětí, které je optimální při porovnání s dovoleným membránovým napětím.

Modely pro výpočtovou část byly vyhotoveny v programu Ansys Mechanical Enterprise, který je vhodný pro oblasti strukturálních analýz MKP. Výkresová část přílohy je vytvořena v programu SolidWorks 3D CAD.

Navržené klínové šoupátko je upraveno a připraveno k dalším tlakovým a provozním zkouškám, které jsou podstatné pro atestaci daného typu armatur. Cíl práce byl tímto splněn a výrobek je připraven k začlenění do výroby. Je důležité poznamenat, že každý zákazník má určité požadavky, které budou vést k drobným úpravám na konstrukci. Jedná se o požadavky na materiálové provedení dílců, rozměry konců, typů patek a úpravy příruby pro zvolený typ pohonu.

Sestavní výkresy a výkresy vybraných dílců jsou součástí přílohy diplomové práce.

Závěrem bych rád poděkoval Ing. Marku Vidlákoví ze společnosti MSA, a.s. Mé poděkování taktéž patří Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu a vedení při zpracování mé diplomové práce.

6 CITACE

[1] Лебедев, В. А. Ядерные энергетические установки: учебное пособие / В. А. Лебедев. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2015. 189 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

[2] Михалевич, А. А. Атомная энергетика: состояние, проблемы, перспективы / А. А. Михалевич, М. В. Мясникович; Национальная академия наук Беларуси, Институт экономики. - Минск: Беларуская навука, 2009. - 189 с.

[3] DEJL, Zdeněk.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000. ISBN 80-7225-018-3.

[4] NĚMČEK, Miloš.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. Vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.

[5] MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1

[6] KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91 s. ISBN 978-80-248-1860-3

[7] MSA a.s., MSA – Výrobce armatur. [online]. [cit. 12.04.2019]. Zdroj: <http://www.msa.cz/sortiment/>

[8] ROČEK, Jaroslav.: *Průmyslové armatury: Teorie a praxe*. Praha: SNTL, Řada strojírenské literatury, 1975.

[9] BEČVÁŘ, Josef a DLOUHÝ, Miroslav. *Jaderné elektrárny*. Praha: s.n., 1981. s. [1a]. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:ad12fc80-4c65-11e7-aac4-005056827e51>

[10] Кокорев Б.А., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. –М.: Энергоатомиздат, 1990.

[11] Острейковский В.А. Эксплуатация атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1999.

[12] STEINER, J., V. ČAJKOVSKÝ a K. DVOŘÁK. *Průmyslové armatury: Katalog 1957: Určeno pro konstruktéry, investory, technology prům. strojírn., energetického, chem., hutního, potravinářského, jakož i pro projekční a odbytové organizace uvedených prům. odvětví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958.

[13] Ковалевич О.М. Основы обеспечения безопасности атомных станций. М.: Изд-во МЭИ, 1999.

[14] Новиков В.М., Смирнов И.С., Алексеев П.Н. Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок). –М.: Энергоатомиздат, 1993.

[15] Адаменков, А.К. и др. Опыт разработки стационарных систем диагностики арматуры. [Текст] / А.К. Адаменков, А.В. Матвеев, В.В. Головлев, М.Г. Рязанова, А.Б. Ярышев, С.М. Иванов // Арматуростроение. – 2009. – №1(58). – С. 77–80.

[16] Свойства конструкционных материалов атомной промышленности : справочник : в 8 т. / под ред. В. В. Козлова, С. В. Стрелкова. – Москва : ООО «ИЦ «Филин», 2006 -2009.

[17] Слепов, М.Т. и р. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС. [Текст] / Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева, М.Т. Слепов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – №4. – С. 16–22.

[18] Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. –СПб.: Изд-во«Синто»,1996. –264 с.

7 SEZNAM PŘÍLOH

Označení	Název	Číslo dokumentu
Příloha A	KLÍNOVÉ ŠOUPÁTKO	VOL0081-TBM3P-01
Příloha B	TĚLESO	VOL0081-TBM3P-01-01
Příloha C	DESKA KLÍNU	VOL0081-TBM3P-01-03
Příloha D	VEDENÍ KLÍNU	VOL0081-TBM3P-01-04
Příloha E	VŘETENO TR52x16(8P)	VOL0081-TBM3P-01-09

Přílohy

